



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências da Saúde

# **Espalhamento Intraocular e Aberrações Oculares em Pacientes com Diabetes Versão Final Após Defesa**

**Marta Sofia Milheiro Joaquim Chaves Magro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Optometria em Ciências da Visão**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Doutora Elsa Susana dos Reis da Fonseca  
Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel Lourenço Monteiro

**Covilhã, Outubro de 2017**



# Dedicatória

Dedico esta dissertação:

- À minha família, em especial aos meus falecidos avós maternos, António e Benedita, que de certeza, onde quer que estejam, estão orgulhosos do percurso que fiz e na pessoa em que me tornei;
- À Cláudia, à Sónia, à Andreia J. e ao Duarte, por este último ano carregado de boas histórias e vivido ao máximo. A eles, que sabem bem o que valem;
- A todos os diabéticos com quem me cruzei nos rastreios da RD que, tal como eu, enfrentam e vivem adversidades e sentem na pele a “dor” que esta doença causa, tornando-se pessoas mais resistentes e mais humanas.



## Agradecimentos

- Aos meus orientadores, Prof<sup>a</sup> Elsa Fonseca e Prof Pedro Monteiro, pela ajuda, conselhos e ensinamentos disponibilizados na elaboração desta dissertação. Um especial agradecimento ao Prof Pedro, pela oportunidade que me deu de estar presente este ano nos rastreios da RD e pela experiência clínica que me permitiu adquirir.

- À minha família, principalmente aos meus pais e à minha irmã. Agradeço por ao longo destes anos me terem proporcionado tudo aquilo que sempre precisei, por me terem permitido chegar a esta fase da minha vida, por serem sempre as mãos que me levantam quando caio e por me ensinarem a nunca desistir do que realmente quero. À minha irmã Mariana, por todo o incentivo que me dá a querer fazer sempre mais e melhor. Aos meus avós, por toda a ajuda e conselhos dados durante esta caminhada. Por eles e para eles, tudo! Sempre!

- Aos meus amigos que esta cidade me deu a conhecer. Foram cinco anos carregados de grandes momentos, altos e baixos, vitórias e derrotas. A eles agradeço todo o apoio, ajuda e motivação, mas principalmente toda a amizade. Foi essa amizade que me permitiu ter força para realizar todo este trabalho e nunca desistir. Especial agradecimento à Sónia, à Cláudia, à Andreia J. e ao Duarte, por nestes últimos tempos terem sido verdadeiros pilares na minha vida, o ombro amigo nas horas mais difíceis e me fazerem acreditar que o melhor está sempre à nossa espera, sem dúvida alguma fizeram isto tudo valer a pena; ainda à Cláudia, por ser o meu braço direito nesta caminhada e pela paciência que teve comigo ao longo deste ano; ao João e à Andreia por ao longo destes anos me terem ajudado sempre em tudo o que precisei e motivado a nunca desistir, mas acima de tudo por toda a amizade, mesmo distantes sempre mostraram estar bem perto. Tenho a certeza que desta cidade e deste curso levo amigos para a vida. A todos eles, o meu sincero obrigada!

- À Elisabete, pela amizade e ajuda que me deu ao longo de todos estes anos.

- Às pessoas que constituíram as amostras que me permitiram realizar o meu estudo.

- Ao NEOUBI, por estes três anos de trabalho em equipa. Com eles, cresci profissional e pessoalmente e ganhei ainda mais experiência, sentido de responsabilidade e amor à camisola.

- À Covilhã, por ter sido a minha casa nestes 5 anos e me ter acolhido tão bem. A cidade da qual sentirei sempre saudades!

A todos, o meu maior e sentido Obrigada!



# Prefácio

*Todos sabemos a importância da educação nas nossas vidas mas, quando se tem diabetes, a aprendizagem torna-se certamente uma forma de vida. Sendo eu próprio uma pessoa com diabetes, apercebo-me de que, quanto mais sei sobre a minha condição e a forma como ela me afeta, mais saudável fico.*

Sir Harry Secombe, Presidente da Diabetes UK

## Resumo

**Introdução:** A Diabetes Mellitus é uma doença crônica, que nos últimos anos tem tido um crescimento acentuado e que constitui uma das principais causas de cegueira em todo o mundo. Associado a esta patologia, ocorrem alterações nos principais órgãos do corpo humano, nomeadamente, os olhos. Deste modo, torna-se necessário e útil, o estudo das alterações da qualidade visual, entre elas a qualidade da imagem retiniana, uma vez que os pacientes diabéticos estão sujeitos a alterações precoces quando comparados com pacientes sem esta patologia.

**Objetivo:** Avaliar a influência da Diabetes na qualidade de imagem retiniana através de medições de espalhamento intraocular e aberrometria.

**Métodos:** Estudo caso-controlo em que a população em estudo é portadora de Diabetes, tendo sido constituída por 50 pacientes e a população controlo por 30 pacientes. Ambos os grupos realizaram medições de espalhamento intraocular através do C-Quant (Cataract Quantifier) da Oculus e medições de aberrometria pelo Aberrómetro Topógrafo Corneano OPD Scan III da Nidek. Posteriormente, realizaram a medição da acuidade visual em alto e baixo contraste e responderam a um questionário de encandeamento.

**Resultados:** A dimensão das amostras analisadas para ambos os grupos foi de 50 pacientes com diabetes ( $59 \pm 7$  anos) e 30 pacientes sem a patologia ( $55 \pm 10$  anos). Quando comparados ambos os grupos, para parâmetros como o espalhamento, embora sem significância estatística nesta variável, os valores foram superiores em pacientes com diabetes. No caso das aberrações, verificou-se significância estatística para o Trifólio Vertical, a Aberração Esférica e o HORMS, observando-se também na análise das aberrações que o grupo com diabetes volta a apresentar valores superiores ao grupo de controlo para estes parâmetros. Aquando da realização de testes de correlação entre os parâmetros anteriormente mencionados, nomeadamente, o espalhamento e as várias aberrações analisadas no estudo, não se verificou a existência de correlações entre estes, à exceção do valor de espalhamento que apresenta correlação positiva moderada com ambas as acuidades visuais e com a idade.

**Conclusões:** O objetivo principal do estudo ficou cumprido, uma vez que se mostrou que pacientes com diabetes apresentam maiores valores de espalhamento intraocular e de aberrações oculares, quando comparados com indivíduos sem esta patologia. A associação entre algumas aberrações e os valores de espalhamento não ficou provada neste estudo.

## Palavras-chave

Diabetes Mellitus, Espalhamento Intraocular, Aberrações Oculares, Qualidade Visual





# Abstract

**Introduction:** Diabetes Mellitus is a chronic disease, which in recent years has grown sharply and is one of the leading causes of blindness worldwide. Associated with this pathology, changes occur in the main organs of the human body, namely, the eyes. Thus, it is necessary and useful to study changes in visual quality, including retinal image quality, since diabetic patients are subject to early changes when compared to patients without this pathology.

**Objective:** To evaluate the influence of Diabetes on the quality of the retinal image through measurements of intraocular scattering and aberrometry.

**Methods:** A case-control study in which the study population are carrier of Diabetes, comprising 50 patients and the control population with 30 patients. Both groups performed intraocular scattering measurements using the Oculus C-Quant (Cataract Quantifier) and measurements of aberrometer by the Nidek OPD Scan III Corneal Surveyor Aberrometer. Subsequently, they performed the measurement of visual acuity in high and low contrast and answered a straylight questionnaire.

**Results:** The size of the analysed samples for both groups was 50 patients with diabetes ( $59 \pm 7$  years) and 30 patients without the disease ( $55 \pm 10$  years). When comparing both groups, for parameters such as scattering, although not statistically significant in this variable, values were higher in patients with diabetes. In the case of the aberrations, it was verified statistical significance for Vertical Trefoil, Spherical Aberration and HORMS, also observing in the analysis of the aberrations that the group with diabetes presents higher values than the control group for these parameters. When performing correlation tests between the aforementioned parameters, namely, the scattering and the various aberrations analysed in the study, there was no correlation between them, except for the scattering value that shows a moderate positive correlation with both visual acuities and with age.

**Conclusions:** The main objective of the study was fulfilled, since it was shown that patients with diabetes have higher values of intraocular scattering and ocular aberrations when compared with individuals without this pathology. The association between some aberrations and scattering values was not proved in this study.

## Keywords

Diabetes Mellitus, Intraocular Scattering, Ocular Aberrations, Visual Quality



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Prefácio.....	vii
Resumo .....	viii
Palavras-chave .....	viii
Abstract .....	x
Keywords .....	x
Índice .....	xii
Lista de Figuras .....	xvii
Lista de Tabelas.....	xx
Lista de Acrónimos .....	xxii
1. Introdução .....	1
2. Qualidade Visual.....	2
2.1 Formação da imagem na retina e resolução ótica do olho.....	2
2.1.1 Resolução .....	2
2.2 Aberrações Óticas .....	3
2.2.1 Técnicas de Análise e Medição das AO.....	6
2.2.2 Principio de Desvio Focal (do inglês, Focal Shift) .....	6
2.2.3 Principio de Retinoscopia Dinâmica .....	7
2.3 Espalhamento da Luz .....	8

2.3.1	Métodos de Medição e Análise do EIO.....	10
2.3.2	Medição do EIO através da análise de imagens de dupla-passagem .....	11
2.3.3	Método de Compensação Direta .....	12
2.3.4	Método de Comparação Compensação.....	13
2.4	Aberrações Óticas vs. Espalhamento da luz .....	15
2.5	Sensibilidade ao Contraste.....	17
3.	A Diabetes e a sua influência nos parâmetros de qualidade visual.....	20
3.1	Diabetes Mellitus .....	20
3.2	Patologias, alterações biométricas, fisiológicas e óticas associadas à Diabetes Mellitus <sup>23</sup>	
3.2.1	Glaucoma .....	23
3.2.2	Degeneração Macular Relacionada com a Idade .....	24
3.2.3	Cataratas.....	24
3.2.4	Filme Lacrimal .....	24
3.2.5	Córnea .....	24
3.2.6	Cristalino e estado refrativo do olho .....	25
3.2.7	Humor Vítreo .....	25
3.2.8	Amplitude de Acomodação .....	25
3.2.9	Campos Visuais e Visão das Cores .....	25
3.3	Influência da Diabetes nos parâmetros de qualidade visual .....	26
3.3.1	Espalhamento Intraocular.....	26
3.3.2	Sensibilidade ao Contraste.....	28
3.3.3	Aberrações Oculares .....	28

4.	Métodos .....	30
4.1	Introdução .....	30
4.2	Participantes .....	30
4.3	Materiais e equipamentos.....	31
4.4	Critérios de Exclusão.....	31
4.5	Aberrometria .....	31
4.5.1	Procedimento clínico da aberrometria .....	31
4.5.2	Características técnicas do OPD Scan III .....	33
4.6	Espalhamento Intraocular .....	33
4.6.1	Especificações da medição do EIO pelo C-Quant .....	34
4.6.2	Questionário de Encandeamento .....	35
4.7	Medição da Acuidade Visual em Alto e Baixo Contraste .....	36
4.8	Análise de Dados.....	36
5.	Resultados e Discussão .....	37
5.1	Introdução .....	37
5.2	Espalhamento Intraocular .....	37
5.2.1	Parâmetro de Espalhamento .....	37
5.2.2	Questionários de Encandeamento .....	39
5.3	Aberrometria .....	43
5.3.1	Parâmetros de Aberrações.....	43
5.4	Espalhamento Intraocular vs. Aberrações Oculares .....	47
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros .....	54

Bibliografia.....	56
ANEXOS .....	64
ANEXO I .....	65
(Parecer da Comissão de Ética para a Saúde) .....	65
ANEXO II .....	67
(Consentimento Informado Grupo de Estudo) .....	67
ANEXO III .....	69
(Consentimento Informado Grupo de Controlo) .....	69
ANEXO IV .....	71
(Questionário de Encandeamento).....	71





## Lista de Figuras

Figura 2.1 - Esquema simplificado da forma como as imagens são focadas na retina e no sistema ótico da máquina fotográfica.

Figura 2.2 - Esquema representativo do critério de Rayleigh.

Figura 2.3 - Representação das cinco aberrações de Seidel com uma determinada posição de campo  $y_0$ . (a) Distorção; (b) Curvatura de Campo; (c) Astigmatismo; (d) Coma; (e) AE primária.

Figura 2.4 - Representação gráfica das funções base ajustadas a pupilas circulares para os vários polinômios de Zernike (aqui representados os primeiros 15 polinômios, em que a partir da 3ª ordem são consideradas aberrações de alta ordem).

Figura 2.5 - Representação esquemática do princípio de desvio focal (do inglês, focal shift).

Figura 2.6 - Princípio de funcionamento do sensor de retinoscopia dinâmica presente no OPD-Scan III da Nidek.

Figura 2.7 - Esquema ilustrativo do espalhamento dos raios de luz em todas as direções através das imperfeições nos meios óticos, levando à redução do contraste da imagem retiniana.

Figura 2.8 - Representação da posição angular ( $\theta$ ).

Figura 2.9 - Representação da fase on e fase off no Método de Compensação Direta.

Figura 2.10 - Campo de teste apresentado no Método de Comparação Compensação.

Figura 2.11 - a) Equipamento de medição do EIO - C-Quant; b) Exemplificação da medição do EIO pelo C-Quant. O campo de teste, situado à direita na imagem reproduz durante a medição, aquilo que o paciente vê dentro do equipamento, permitindo ao examinador acompanhar passo a passo todo o processo de medida.

Figura 2.12 - Representação do efeito do EIO e das AO na PSF do olho humano. Na imagem o EIO corresponde às caudas da PSF ( $\theta > 1^\circ$ ) onde existe também interferência da SC. O efeito das aberrações está limitado a  $\theta < 10$  min arco.

Figura 2.13 - Curva característica de SC do olho humano. A seta indica o corte de alta frequência desta função. O valor do contraste no eixo das ordenadas é dado em log e o eixo das abcissas representa um contraste de 100%.

Figura 2.14 - Rede espacial que demonstra a função de SC. O contraste aumenta de cima para baixo, e a frequência espacial aumenta da esquerda para a direita. As frequências espaciais moderadas são vistas em contrastes mais baixos do que as frequências espaciais baixas ou altas.

Figura 3.1 - Prevalência da Diabetes em Portugal segundo dados do Relatório Anual do Observatório da Diabetes - Edição de 2016.

Figura 3.2 - EIO da luz em função da idade, comparando pacientes com e sem Diabetes. Grupo com DM:  $Y = +0,006 (\pm 0,002) \text{ Idade} + 0,70 (\pm 0,08)$ ,  $R^2 0,17$ ,  $p < 0,01$ ; Grupo de controlo:  $Y = +0,007 (\pm 0,001) \text{ Idade} + 0,53 (\pm 0,06)$ ,  $R^2 0,36$ ,  $p < 0,01$ . Os valores entre parênteses representam erros padrão.

Figura 4.1 - a) Representação do ajuste do paciente ao equipamento; b) Alvo de fixação que surge ao paciente durante a medição da aberrometria pelo OPD Scan III da Nidek.

Figura 4.2 - Representação da posição que deve ser adotada pelo paciente perante a ocular do C-Quant durante a medição do EIO.

Figura 5.1 - Respostas da Questão 3 para o Grupo de Estudo.

Figura 5.2 - Respostas da Questão 3 para o Grupo de Controlo.

Figura 5.3 - Respostas da Questão 5 para o Grupo de Estudo.

Figura 5.4 - Respostas da Questão 5 para o Grupo de Controlo.

Figura 5.5 - Pontuações atribuídas ao Grupo de Estudo.

Figura 5.6 - Pontuações atribuídas ao Grupo de Controlo.

Figura 5.7 - Relação entre idade e AV de alto contraste. O ajuste linear foi  $y = 8,71 \times 10^{-3}x - 0,79$  com um  $R^2$  de 0,207.

Figura 5.8 - Relação entre idade e AV de baixo contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,01x - 0,32$  com um  $R^2$  de 0,235.

Figura 5.9 - Relação entre idade e  $\log(s)$ . O ajuste linear foi  $y = 0,02x + 0,04$  com um  $R^2$  de 0,281.

Figura 5.10 - Relação entre  $\log(s)$  e AV de alto contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,28x - 0,25$  com um  $R^2$  de 0,188.

Figura 5.11 - Relação entre  $\log(s)$  e AV de baixo contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,32x - 0,01$  com um  $R^2$  de 0,202.



# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Principais meios oculares e respectivos índices de refração.

Tabela 2.2 - Valores típicos de  $\log(s)$ .

Tabela 3.1 - Principais achados clínicos das várias fases da RD.

Tabela 3.2 - Resultados clínicos de estudos sobre EIO em pacientes com e sem DM.

Tabela 3.3 - Resultados clínicos de estudos sobre AO em pacientes com e sem DM.

Tabela 4.1 - Características técnicas do OPD Scan III.

Tabela 4.2 - Especificações da medição do EIO pelo C-Quant.

Tabela 4.3 - Pontuação atribuída a cada grau de severidade das questões realizadas.

Tabela 5.1 - Teste de Normalidade para ambos os grupos relativamente ao parâmetro de espalhamento.

Tabela 5.2 - Características dos grupos em estudo para o parâmetro do EIO.

Tabela 5.3 - Resultados médios das pontuações dos questionários.

Tabela 5.4 - Testes de Normalidade para ambos os grupos relativamente à pontuação dos questionários.

Tabela 5.5 - Testes de Normalidade para ambos os grupos relativamente aos parâmetros de aberrometria.

Tabela 5.6 - Características dos grupos em estudo para os parâmetros das AO.

Tabela 5.7 - Testes de Normalidade para o grupo de DM com HbA1c%.

Tabela 5.8 - Correlações entre HbA1c e parâmetros como o EIO e algumas das AO.



# Lista de Acrónimos

AFO - Aberrações de Frente de Onda  
ANSI - *American National Standards Institute*  
AO - Aberrações Oculares  
ARSC - Administração Regional de Saúde do Centro  
AV - Acuidade Visual  
CCECV - Centro Clínico e Experimental em Ciências da Visão  
cd - Candela  
CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage*  
C-Quant - *Cataract-Quantifier*  
CV - Campos Visuais  
D - Dioptrias  
DG - Diabetes Gestacional  
DM - Diabetes Mellitus  
DMRI - Degeneração Macular Relacionada com a Idade  
DP - *Double Pass*  
EIO - Espalhamento Intraocular  
EM - Edema Macular  
EO - Eixo Ótico  
EPR - Epitélio Pigmentar da Retina  
ESD - *Estimated Standard Deviation*  
FCS - Faculdade de Ciências da Saúde  
HbA1c - Hemoglobina Glicada  
HOA - *Higher Order Aberrations*  
lm - Lúmen  
m - Metro  
MAR - Minimum Angle Resolution  
mm - milímetros  
MTF - *Modulation Transfer Function*  
NORI - Instituto Holandês de Pesquisa Oftalmológica  
OD - Olho Direito  
OE - Olho Esquerdo  
OSA - *Optical Society of America*  
OSI - *Objective Scatter Index*  
PIO - Pressão Intraocular  
PSF - *Point Spread Function*  
Q - *Shape Factor*  
RD - Retinopatia Diabética  
RDNP - Retinopatia Diabética Não Proliferativa

RDP - Retinopatia Diabética Proliferativa

RMS - *Root Mean Square*

RO - Resolução Ótica

SC - Sensibilidade ao Contraste

SO - Sistema Ótico

UBI - Universidade da Beira interior

$\mu\text{m}$  - micrómetro

# 1. Introdução

Esta dissertação de mestrado está inserida num projeto que foi submetido e aprovado pela Comissão de Ética da Administração Regional de Saúde do Centro (ARSC) e efetuado na Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) da Universidade da Beira Interior (UBI), com o título “Análise da Influência de Parâmetros Visuais na Qualidade de Vida do Paciente Diabético na Região da Cova da Beira”. Todos os trabalhos que levaram à medição do Espalhamento Intraocular (EIO) e das Aberrações Oculares (AO) foram desenvolvidos nos Laboratórios das Ciências da Visão, sediados no edifício do Ubimedical no âmbito do projeto mencionado.

O objetivo deste trabalho prende-se com o facto de avaliar a influência da Diabetes na qualidade de imagem retiniana através de medições de EIO e aberrometria. A aquisição do equipamento C-Quant no Centro Clínico e Experimental em Ciências da Visão (CCECV) da UBI veio permitir que, pela primeira vez, fossem realizadas em Portugal medições rigorosas do espalhamento luminoso numa população diversificada. Contudo, o estudo do EIO e das AO em pacientes com Diabetes tanto do tipo 1 como do tipo 2, não foi ainda realizado, sendo este aspeto a principal motivação do estudo. Como tal, este trabalho visa reportar as diferenças no EIO e nas AO numa população portuguesa, estendendo, igualmente, essa análise a ambos os tipos de Diabetes.

A organização desta dissertação é feita através de vários capítulos onde são abordados todos os temas referentes a este trabalho de forma detalhada, bem como toda a metodologia necessária e resultados obtidos, por forma a cumprir os objetivos propostos.

Os capítulos designados respetivamente por, Qualidade Visual e A Diabetes e a sua influência nos parâmetros de qualidade visual, abordam ao longo das suas secções e subsecções todos os aspetos que dizem respeito aos parâmetros de qualidade visual analisados neste estudo, nomeadamente o EIO e as AO, bem como a influência que uma patologia como a Diabetes pode ter na saúde visual. Estes capítulos, embora separados, funcionam ambos como uma revisão bibliográfica sobre a temática.

No capítulo Métodos, é feita uma abordagem a todos os materiais e exames clínicos realizados, bem como a classificação da amostra que serviu de análise a este estudo. É apresentada ainda uma descrição da metodologia utilizada no tratamento estatístico dos dados recolhidos.

No capítulo Resultados e Discussão, é apresentada toda a análise estatística efetuada que levou aos resultados deste estudo. Este capítulo é ainda constituído pela discussão dos resultados obtidos e pela comparação destes com resultados presentes noutros estudos clínicos sobre a temática.

O capítulo Conclusões, apresenta as considerações finais de todo o trabalho realizado.



## 2. Qualidade Visual

### 2.1 Formação da imagem na retina e resolução ótica do olho

Podemos comparar o processo de formação das imagens na retina a uma câmara fotográfica. Desta forma, os elementos óticos têm a imagem dos seus objetos focadas num filme sensível à luz, neste caso a retina, surgindo as mesmas de forma invertida. (1) Na figura 2.1, podemos observar este fenómeno de forma simplificada.

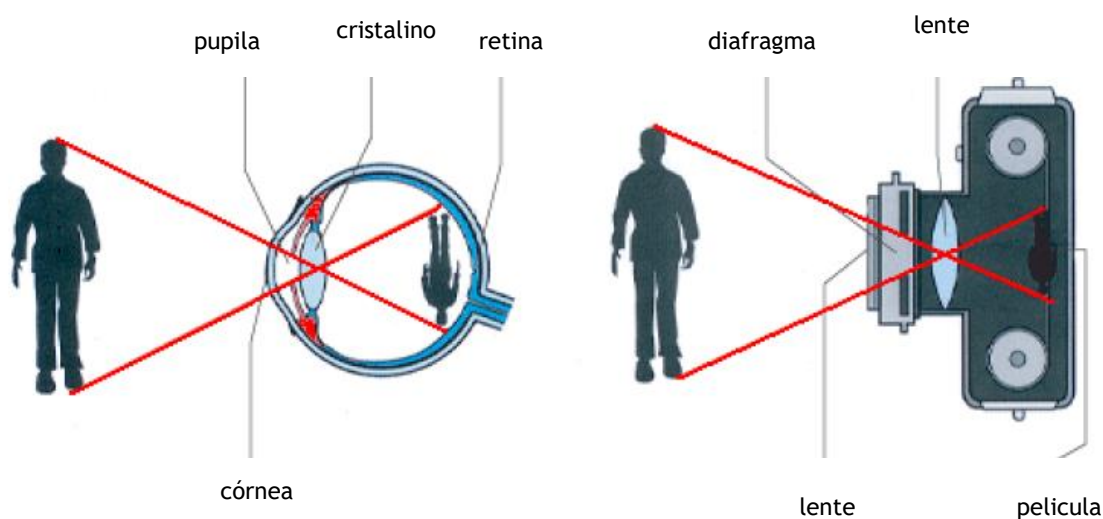


Figura 2.1 - Esquema simplificado da forma como as imagens são focadas na retina e no sistema ótico da máquina fotográfica. (2)

A qualidade das imagens que se formam na retina depende do EIO, das AO e do fenómeno da Difração. (3) Deste modo, torna-se necessário analisar vários aspetos da qualidade ótica retiniana, nomeadamente, a resolução ótica (RO) do olho, o EIO e a avaliação da qualidade de imagem retiniana, pelo que serão apresentados ao longo deste capítulo.

#### 2.1.1 Resolução

A resolução de um sistema ótico (SO) é geralmente dada e limitada pelo menor ângulo sob o qual dois pontos podem ser diferenciados. A função de espalhamento de ponto (PSF, do inglês Point Spread Function) é uma função determinante que controla esta resolução, descrevendo a distribuição de uma fonte de luz pontual formada num plano através de um SO. Num SO perfeito com uma pupila de entrada circular, a PSF é definida pelo diâmetro da pupila e pelo comprimento de onda da luz incidente, sendo a derivação matemática do cálculo da PSF baseada na ótica de Fourier. (4)

Quando duas fontes pontuais se aproximam uma da outra, as suas PSF no plano imagem sobrepõem-se parcialmente. Dependendo do critério de resolução utilizado, essa sobreposição pode dar-se em maior ou menor grau. De acordo com o critério de Rayleigh, a separação angular entre as duas fontes pontuais é tal que o primeiro mínimo de uma PSF coincide com o máximo da outra, (4) podendo o mesmo ser observado na figura 2.2.

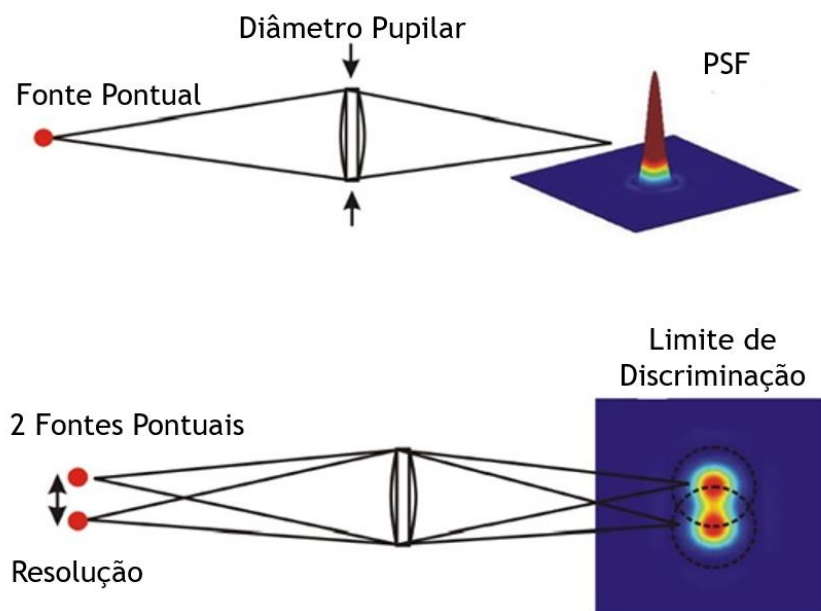


Figura 2.2 - Esquema representativo do critério de Rayleigh. Adaptado de (5).

## 2.2 Aberrações Óticas

O surgimento da cirurgia refrativa despertou o interesse na investigação clínica para estudar melhor as AO, bem como a influência que estas têm na qualidade visual, uma vez que a cirurgia refrativa possui um potencial para induzir ou retirar aberrações óticas do olho humano. Cada vez mais nos dias de hoje, e com os inúmeros equipamentos disponíveis no mercado, tornou-se possível a medição rápida e objetiva das aberrações óticas de baixa e alta ordem do olho humano, o que permitiu uma melhor avaliação da função visual dos pacientes. (6,7)

Dentro das AO destacam-se dois aspetos importantes de análise, nomeadamente, a análise das aberrações de frente de onda (AFO) e as várias formas de medição das mesmas.

De acordo com a teoria paraxial, uma lente perfeita montada num SO foca a luz de um objeto pontual numa imagem também pontual. Fora da região paraxial, contudo, há que considerar a refração dos diferentes raios luminosos de um feixe de luz nas diferentes zonas de uma superfície ótica. Na realidade, nem todos os raios convergem para o mesmo ponto imagem. Em vez disso, é produzida uma distribuição mais ou menos irregular de pontos cuja forma e dimensões dependem das AO características dessa superfície e do objeto em causa. (8,9,10)

Podem definir-se duas abordagens principais no que diz respeito ao estudo das aberrações óticas do olho humano, nomeadamente a abordagem de Seidel e a abordagem de Zernike.

A abordagem de Seidel é uma abordagem mais clássica que tem origem no estudo de SO e que ainda tem grande aplicação na área da engenharia ótica. Corresponde a aberrações geométricas, uma vez que são calculadas no plano imagem. Os modelos esquemáticos finitos do olho baseiam-se, sobretudo, em aberrações geométricas uma vez que é mais simples relacionar os parâmetros estruturais da córnea e do cristalino com este tipo de aberrações. As aberrações de Seidel são cinco, nomeadamente: aberração esférica (AE), coma, astigmatismo, curvatura de campo e distorção e podem ser observadas na figura 2.3. (7,10)

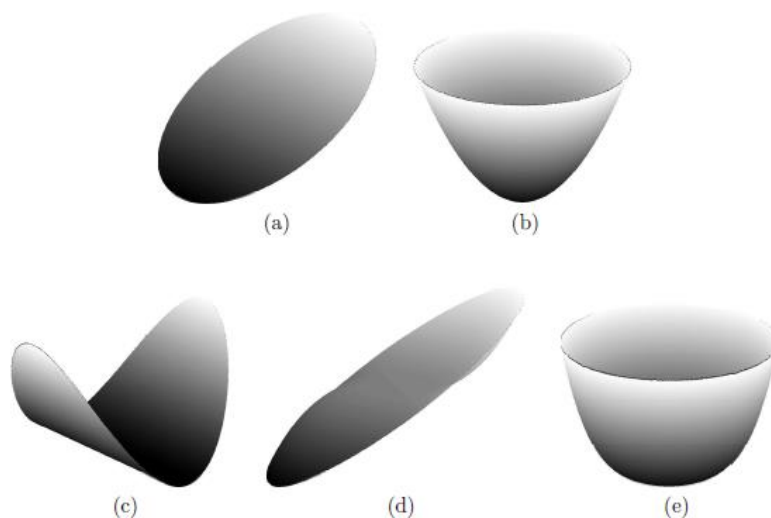


Figura 2.3 - Representação das cinco aberrações de Seidel com uma determinada posição de campo  $y_0$ . (a) Distorção; (b) Curvatura de Campo; (c) Astigmatismo; (d) Coma; (e) AE primária. Adaptado de (8).

No que diz respeito à abordagem de Zernike, é uma abordagem mais moderna que teve origem na rápida evolução da cirurgia refrativa. Em 1999, a OSA (do inglês, *Optical Society of America*) desenvolveu a norma publicada pelo American National Standards Institute (ANSI) sob a designação ANSI Z80.28-2004, que aceita internacionalmente a representação das aberrações do olho na forma de aberrações de Zernike. Estas estão ligadas às AFO uma vez que são calculadas no plano pupilar do olho, sendo os polinómios de Zernike os mais utilizados atualmente para descrever as AO. (7,9,10)

Os polinómios de Zernike são divididos em várias ordens dispostas numa pirâmide, formando um conjunto de funções base adequadas a pupilas circulares que podem ser ajustadas aos dados, conforme pode ser visto na figura 2.4. Cada função dessa base tem um coeficiente associado que indica a quantidade daquele tipo particular de aberração que compõe a AFO. De acordo com a ordem dos polinómios, dividem-se as aberrações em baixa ordem (primeira e segunda ordens), e alta ordem (terceira ordem em diante). (7,9,10) A unidade de medida das

AO é o micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), representado pelo valor do erro quadrático médio (RMS, do inglês, *root mean square*) e calcula-se da seguinte forma (11):

$$\text{RMS} = \sqrt{(Z_2^{-2})^2 + (Z_2^0)^2 + (Z_2^2)^2 + (Z_3^{-3})^2 + \dots} \quad (2.1),$$

onde Z representa o coeficiente correspondente para cada termo Zernike.

Desta forma, um RMS de alta ordem significa o valor de todas as aberrações de alta ordem medidas pelo aberrômetro em  $\mu\text{m}$ . Os valores obtidos nos polinômios de Zernike são dependentes do diâmetro pupilar no momento do exame. (7,9,10)

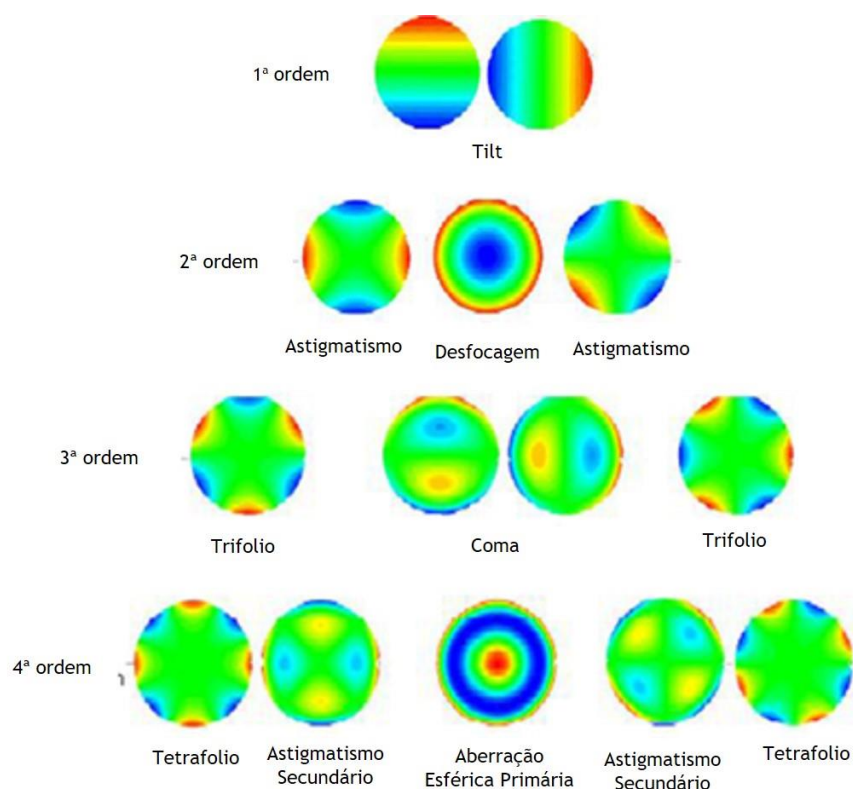


Figura 2.4 - Representação gráfica das funções base ajustadas a pupilas circulares para os vários polinômios de Zernike (aqui representados os primeiros 15 polinômios, em que a partir da 3ª ordem são consideradas aberrações de alta ordem). Adaptado de (12)

Ao longo dos capítulos desta dissertação, e nomeadamente no que diz respeito à análise dos dados de aberrometria, foram apenas selecionadas para estudo neste trabalho, aberrações de 3ª ordem (coma horizontal e vertical e trifólio (do inglês, trefoil)) e 4ª ordem (AE). As mesmas provocam alterações visuais nos pacientes, que serão apresentadas de seguida.

No que diz respeito a aberrações de 3ª ordem, neste caso o trifólio e o coma, o coma apresenta duas vertentes: a horizontal e a vertical. Perante esta aberração, a imagem de um objeto pontual assume a forma de “cometa”, provocando um maior espalhamento da visão, formando

assim uma imagem assimétrica cujo centro geométrico se encontra fora do eixo ótico (EO). Quanto à aberração de 4ª ordem que aqui vai ser apresentada, a AE, esta depende de diferenças na curvatura entre o centro e os bordos da pupila, o que pode originar o surgimento de múltiplos pontos focais, ao longo do EO, provocando o aparecimento de halos na visão, prejudicando a saúde visual do paciente. Por exemplo, quando uma frente de onda é afetada por uma AE positiva, os raios periféricos focam mais próximo do cristalino do que os raios paraxiais. A diferença entre os pontos em que estes dois tipos de raios são focados é um modo de medir a severidade da AE do sistema. (13)

### 2.2.1 Técnicas de Análise e Medição das AO

Nas últimas décadas, foram vários os métodos desenvolvidos e aplicados para a medição das AO de frente de onda. Relativamente à sua análise, distinguem-se 4 técnicas que se baseiam todas no mesmo princípio: o princípio de desvio focal (*do inglês*, focal shift). Estas técnicas são nomeadamente, a técnica de traçado de raios (*do inglês*, Ray Tracing), a de Hartmann-Shack, a de Tscherning e por fim a de Retinoscopia Dinâmica. (14)

Em 1619, foi publicado o primeiro trabalho que abordava o assunto da ótica do olho humano, onde foi descrito um aparelho denominado de disco de Scheiner, que permitia medir as imperfeições do olho. Anos mais tarde, em 1900, o disco de Scheiner é aperfeiçoado servindo de base para a criação do sensor de Hartmann-Schack em 1971. No ano de 1994, deu-se a primeira aplicação clínica do aberrómetro de Hartmann-Schack, sendo nos dias de hoje o sensor mais utilizado na maioria dos aberrómetros existentes no mercado. (15,16)

Para a realização deste estudo, foi utilizado o Aberrómetro Topógrafo Corneano OPD Scan III da Nidek, que utiliza a técnica de retinoscopia dinâmica. De seguida, serão explicados tanto o princípio de desvio focal, comum às 4 técnicas, bem como o princípio de retinoscopia dinâmica.

### 2.2.2 Princípio de Desvio Focal (*do inglês*, Focal Shift)

De forma muito simples, este princípio baseia-se na ideia de que uma lente perfeita acaba por refratar sempre qualquer feixe de luz incidente paralelo ao EO da mesma através do seu ponto focal. Se a lente possuir aberrações, o mesmo já não se verifica para cada feixe incidente paralelo. Assim, alguns dos feixes são focados à frente ou atrás do ponto focal, de modo a que o corte transversal do feixe refratado com o plano focal pareçam estar afastados do ponto focal. Este fenómeno ótico é chamado de desvio focal e pode considerar-se como uma definição do que é medido por um aberrómetro. (14) Na figura 2.5, está representado esquematicamente este princípio.

Quando o feixe incidente se desloca para outro ponto na superfície da lente, o desvio focal irá variar de acordo com as aberrações locais da lente nesse ponto. O mapeamento resultante da relação entre os vários pontos de incidência e os correspondentes desvios focais, fornece uma ideia geral do declive das frentes de onda nessas posições. A estimativa da frente de onda

ocular é feita fazendo um ajuste de mínimos quadrados entre o mapa dos declives da frente de onda medidos experimentalmente e as derivadas dos polinômios de Zernike obtidas matematicamente. (14)

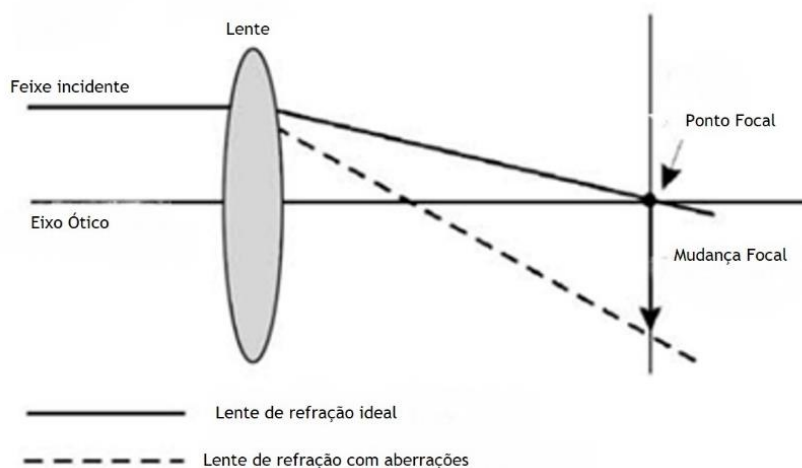


Figura 2.5 - Representação esquemática do princípio de desvio focal (do inglês, focal shift). Adaptado de (14)

### 2.2.3 Princípio de Retinoscopia Dinâmica

Este princípio assenta numa versão automática do retinoscópio portátil, implementando um modo de funcionamento objetivo, em série e de dupla passagem (DP, do inglês *Double Pass*). Baseia-se no tempo e não na posição de um ponto ou pontos projetados na retina, quando se trata de determinar a AFO do olho humano. (10) Usa o princípio de desvio focal de maneira diferente, uma vez que, a imagem retiniana de um feixe de luz proveniente de uma direção superior está localizada abaixo do EO num olho míope e acima do EO nos casos de hipermetropia. Podendo considerar-se a retina como um espelho esfericamente côncavo, refletindo cerca de 4% da luz incidente, o feixe é refletido de volta mais ou menos à direção original, nos casos dos olhos míopes. Nos olhos hipermetrópicos, o mesmo não se verifica, sendo a reflexão direcionada para o lado oposto da pupila. Movendo o feixe incidente ao longo de um certo meridiano pupilar (na figura 2.6, representado por setas, ao canto) resultará num feixe refletido que vai na mesma direção ou na direção oposta ao feixe incidente. A diferença de direção e a relação entre a velocidade do feixe incidente e da sua reflexão podem então ser usadas para estimar a refração ocular ao longo deste meridiano. (17)

A técnica de retinoscopia dinâmica usa uma fonte LED que é colocada atrás de uma tela com uma fenda de rotação rápida. Como se pode observar pela figura 2.6, usando a lente L1, a imagem da fenda é projetada no plano da pupila, onde uma porção da luz passará a abertura da mesma. Dependendo da refração ocular ao longo do meridiano que está a ser analisado, o feixe refletido move-se com uma velocidade e direção específicas. Isso é registado, projetando

o plano da pupila numa série de díodos fotossensíveis usando um divisor de feixe e uma segunda lente, a lente L2. Quando a orientação da fenda que analisa os meridianos e da matriz de díodos é alterada para medir o outro meridiano, obtém-se um mapa de ametropia em dioptrias (D) que pode ser transposto para um mapa de frente de onda, em  $\mu\text{m}$ . (17)

Esta técnica baseada no tempo, apresenta vantagens como, permitir uma gama dinâmica de ametropias mais abrangente (cerca de -20,00D a +20,00D de esfera e cilindros até 12,00D com resolução de 1° de eixo), resolução mais elevada e melhor precisão. Apresenta ainda, a funcionalidade de realizar medições a pupilas até 6 milímetros (mm) com 1440 pontos em 4 anéis num tempo de medição de cerca de 0,4 segundos. (10,14)

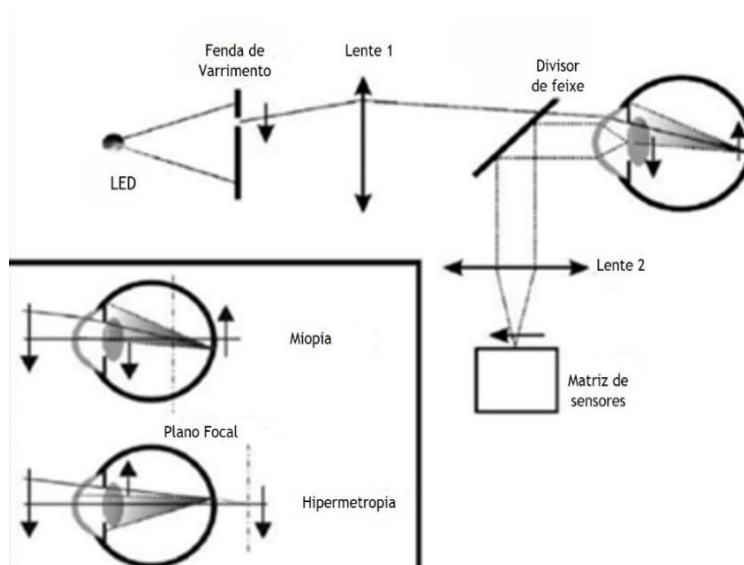


Figura 2.6 - Princípio de funcionamento do sensor de retinoscopia dinâmica presente no OPD-Scan III da Nidek. Adaptado de (14)

## 2.3 Espalhamento da Luz

Podemos classificar, de uma forma simples, o EIO como a luz que se espalha ou dispersa no interior do olho. O espalhamento da luz ocular é normalmente associado à dispersão elástica, ou seja, a luz espalhada tem o mesmo comprimento de onda que a frente de onda de entrada no SO. Tal fenómeno ocorre, quando uma frente de onda viaja através de um meio com um índice de refração não homogéneo. No caso do cristalino, ocorre um espalhamento em volume, levando a alterações na refração devido aos diferentes índices. Por sua vez, na córnea ocorre um espalhamento em superfície, que se deve em grande parte às microirregularidades presentes na mesma. Este espalhamento é responsável pela formação de um véu de luz na retina, pela consequente redução de contraste e possível degradação da imagem na mesma, como se pode observar na figura 2.7. O EIO é ainda responsável pelo bordo da PSF aproximadamente além dos 60 minutos de arco afetando funções visuais como a sensibilidade ao contraste (SC), campos visuais (CV) e retinografias. (5,18)

Como foi referido anteriormente, o EIO ocorre em meios com índices de refração não homogêneos. Deste modo, e tendo em conta a homogeneidade dos humores aquoso e vítreo, constata-se que as principais fontes de espalhamento num olho normal no seu segmento anterior ocorrem na córnea e no cristalino, com uma contribuição de cerca de 2/3 no seu conjunto, ou em irregularidades superficiais nas superfícies refrativas do olho. (5,19) Na tabela 2.1 são apresentados os índices de refração dos principais meios oculares. (20)

Tabela 2.1 - Principais meios oculares e respetivos índices de refração. (20)

Estrutura	Índice de refração (n)
Interface ar-córnea	1.38
Interface córnea-humor aquoso	1.33
Cristalino	1.40
Humor vítreo	1.34

O EIO, por sua vez, conduz a efeitos visuais prejudiciais, tais como o encandeamento durante a condução noturna, problemas de reconhecimento facial, queixas de turbidez da visão, perda de cor e contraste. Aumenta com a idade no olho perfeitamente saudável, mas muito mais rapidamente quando existem perturbações dos meios óticos como por exemplo, em casos de catarata. Embora, o cristalino e a córnea sejam responsáveis pela maior parte do EIO podem, no entanto, existir outras fontes de espalhamento, como a reflexão difusa na retina e na coróide provocada pela incidência de luz segundo ângulos visuais extremos, difusão na retina com origem na vizinhança imediata da imagem ou ainda reflexões múltiplas no interior do olho. O comportamento do EIO varia consoante o meio ótico. Na córnea, não varia com a idade, podendo aumentar em casos de cirurgia refrativa, edema corneal, distrofias corneais e utilização de lentes de contato rígidas. Quanto ao cristalino, o EIO tem tendência a aumentar com a idade, em especial se estiver presente uma catarata. (3,19) No que diz respeito à retina, esta é constituída por várias camadas que possuem diferentes propriedades de absorção/reflexão e espalhamento da luz. Na camada anterior da retina, uma porção da luz é espalhada pelos vasos sanguíneos e pelos capilares. Os fotorreceptores não contribuem especificamente para a difusão da luz, existindo atrás destes, uma camada altamente absorvente, o epitélio pigmentar da retina (EPR). A quantidade de absorção de luz no EPR pode variar consoante a cor dos olhos e entre os diferentes indivíduos. A coróide constitui a camada mais difusiva do segmento posterior do olho, possuindo uma espessura de aproximadamente 400µm. Segundo estudos realizados, acredita-se que o espalhamento que ocorre na coróide vem de interações com a melanina no sangue. Dada a curva de absorção espectral da melanina, o efeito da difusão coroidal é mais forte para a luz vermelha. Deste modo, e como já foi referido, a reflexão da retina pode variar para diferentes indivíduos, levando a que nos casos de olhos



com pouca pigmentação, estes absorvam menos luz difusa que é refletida na esclera, podendo assim aumentar a dispersão da luz no segmento anterior do olho. (3,21)

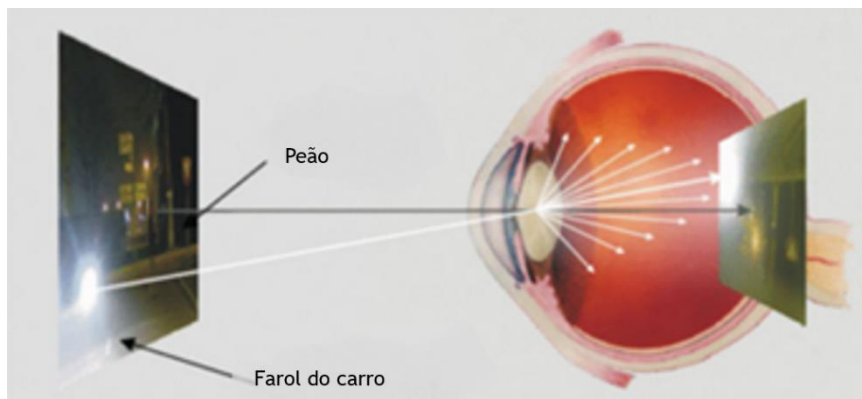


Figura 2.7 - Esquema ilustrativo do espalhamento dos raios de luz em todas as direções através das imperfeições nos meios óticos, levando à redução do contraste da imagem retiniana. Adaptado de (22)

### 2.3.1 Métodos de Medição e Análise do EIO

O EIO é conhecido desde o início do século XX como um aspeto importante da qualidade de visão dos pacientes. Através da CIE (do francês, *Commission Internationale de l'Eclairage*), o encandeamento é quantificado por meio da medição do espalhamento, sendo avaliado psicofisicamente. O estudo do EIO em laboratório e em clínica era prejudicado pela demora dos testes e pela falta de controlo da fiabilidade dos mesmos. Este aspeto mudou nos últimos 20 anos com o aparecimento no ano de 2005, do C-Quant (do inglês, *Cataract-Quantifier*), desenvolvido em conjunto com van den Berg do Instituto Holandês de Pesquisa Oftalmológica (NORI), em Amesterdão. Este, permite a medição da dispersão intraocular, de forma individual e confiável, levando assim ao aparecimento nos últimos anos de muitos estudos sobre questões básicas ou clínicas do EIO. (3) Embora o C-Quant seja o método mais utilizado ultimamente para a medição do EIO, existem outros métodos que serão explicados de seguida, bem como a definição do parâmetro de espalhamento  $s$ .

O parâmetro de espalhamento  $s$  define-se como a quantidade de EIO medida, sendo os resultados normalmente apresentados logaritmicamente, como  $\log(s)$ , por forma a facilitar a sua comparação com a acuidade visual (AV) em logMAR (do inglês, *Minimum Angle of Resolution*). Os valores normais são em torno de  $\log(s) = 0,9$ , mas com o envelhecimento do cristalino estes valores tendem a ser superiores. Este encontra-se relacionado com a luminância equivalente,  $L_{eq}$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) e com a iluminância de encandeamento,  $E_{gl}$  ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ). A PSF normalizada define-se da seguinte forma (3,19):

$$\text{PSF}(\theta) = \frac{L_{eq}}{E_{gl}} \quad (2.2)$$

Como a PSF varia rapidamente com a posição angular ( $\theta$ ), como pode ser observado na figura 2.8, surge desta forma a definição do parâmetro de espalhamento  $s$  segundo a expressão seguinte (3,19):

$$s = \theta^2 \times \frac{Leq}{Egl} = \theta^2 \times PSF \quad (2.3)$$

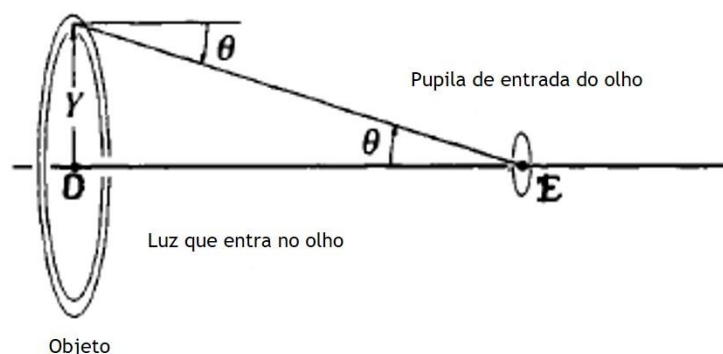


Figura 2.8 - Representação da posição angular ( $\theta$ ). Adaptado de (19)

Na tabela 2.2 são apresentados alguns valores típicos do  $\log(s)$  mediante determinadas condições oculares.

Tabela 2.2 - Valores típicos de  $\log(s)$ . (19)

Condição Ocular	Valor de $\log(s)$
Olho jovem normal	0,87
Olho com catarata inicial	1,50

### 2.3.2 Medição do EIO através da análise de imagens de dupla-passagem

Este método é baseado na análise de imagens de DP de uma fonte pontual projetada na retina. A técnica de DP foi amplamente utilizada no passado para avaliar questões relacionadas com a qualidade ótica da imagem retiniana (23,24) para uma variedade de condições clínicas. (25-27) Desta forma, foi desenvolvida uma análise diferente da distribuição da luz nas imagens de DP para quantificar o EIO. (28,29)

O sistema de DP é baseado numa configuração de pupila desigual com um diâmetro de 2 mm na pupila de entrada e um diâmetro variável para a pupila de saída. Um laser de diodo infravermelho é colimado e depois de passar a abertura de entrada ingressa no olho. Após a reflexão na retina e a DP através dos meios oculares, a luz é refletida num divisor de feixe e passa para a abertura de saída sendo gravada numa câmara digital. Nesta técnica são registadas conjuntos de imagens de cada olho e imagens de fundo. Tanto o conjunto de imagens retinianas com DP como as imagens de fundo são calculadas, sendo obtida uma imagem final para cada olho como a subtração do fundo médio da imagem média de DP. Desta forma, é definido para cada imagem, um Índice de dispersão objetiva (OSI, do inglês Objective Scatter Index) para

quantificar a magnitude do EIO. Baseia-se na análise da distribuição de intensidade nas partes externas da imagem de DP. O parâmetro OSI é definido como a relação entre a luz integrada na periferia e os arredores do pico central da imagem de DP. A excentricidade e a largura das áreas específicas para este cálculo dependem dos parâmetros de aquisição do sistema de DP. Valores de OSI para olhos normais variam em torno de 1, enquanto que valores acima de 5 representam sistemas com alto espalhamento. (30)

### 2.3.3 Método de Compensação Direta

Baseia-se num método de ajuste por parte do paciente, em que é apresentada uma tela de teste composta por um círculo central e um anel periférico, onde estímulos diferentes são comparados de forma sequencial. (3,31) Segundo este método, o paciente deve olhar para o círculo central da tela de teste, e à medida que o mesmo é iniciado, o anel periférico (que é considerado a fonte de dispersão da luz) começa a piscar, sendo desta forma percebido pelo paciente como preto e branco intermitente. Podem então considerar-se duas fases de teste: a fase “on”, quando o anel periférico está branco e a fase “off”, quando o mesmo se encontra preto, como representado na figura 2.9 (3,31)

No decorrer da fase “on”, o anel periférico da tela de teste é projetado numa zona periférica da retina mas, em consequência do espalhamento da luz, uma pequena parte da mesma que é originada no anel é espalhada para outras partes da retina, nomeadamente a fóvea. Durante esta fase, como o paciente olha fixamente para o círculo central preto, na fóvea encontra-se a imagem do círculo preto, embora devido à luz originada e espalhada pelo anel, este surja ligeiramente cinza. Por sua vez, na fase “off”, não há luz proveniente do anel periférico, logo o círculo central surge como preto ao paciente, devido ao fato de não existir espalhamento da luz. Ambas as fases alternam entre si, levando a que o paciente perceba o círculo central a alternar entre o preto e o cinza, estando esta alternância em fase com o sinal intermitente do anel periférico. (3,31)

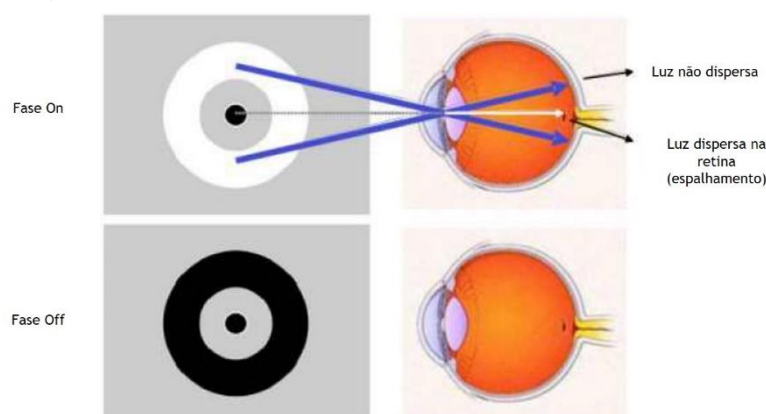


Figura 2.9 - Representação da fase on e fase off no Método de Compensação Direta. (31)

Sendo este um método de ajuste, o paciente regula a quantidade de luz diretamente no círculo central durante a fase “off”, sendo esta luz chamada de compensação. O paciente ao adicionar

uma certa quantidade de luz ao círculo central durante a fase “off” vai desta forma igualar a quantidade de luz percebida durante a fase “on” a fim de que a intermitência deixe de ser detetada e a luminância do círculo central pareça constante. A luz de compensação relaciona-se diretamente com o espalhamento que chega à fóvea proveniente do anel periférico cujo ângulo subtense no ponto nodal do olho é cerca de  $7^\circ$ . (3,31)

#### 2.3.4 Método de Comparação Compensação

Embora o método da compensação direta tenha funcionado razoavelmente, este apresentou algumas falhas, uma vez que era difícil para os pacientes determinarem se o círculo central piscava ou não, levando desta forma a que não fosse possível obter resultados confiáveis. Face a esta situação, Franssen, Coopens e van den Berg desenvolveram a partir do método de compensação direta, o método de comparação compensação, onde são apresentados dois estímulos de compensação direta e comparados simultaneamente. Perante este método, o círculo central da tela de teste divide-se em dois hemisférios, onde um destes apresenta uma luz de compensação controlada por um software específico para o C-Quant, como os que são apresentados figura 2.10. Ao contrário do método anterior, este é um método de escolha forçada com duas alternativas, onde o paciente tem de escolher obrigatoriamente entre uma delas. (3,31)

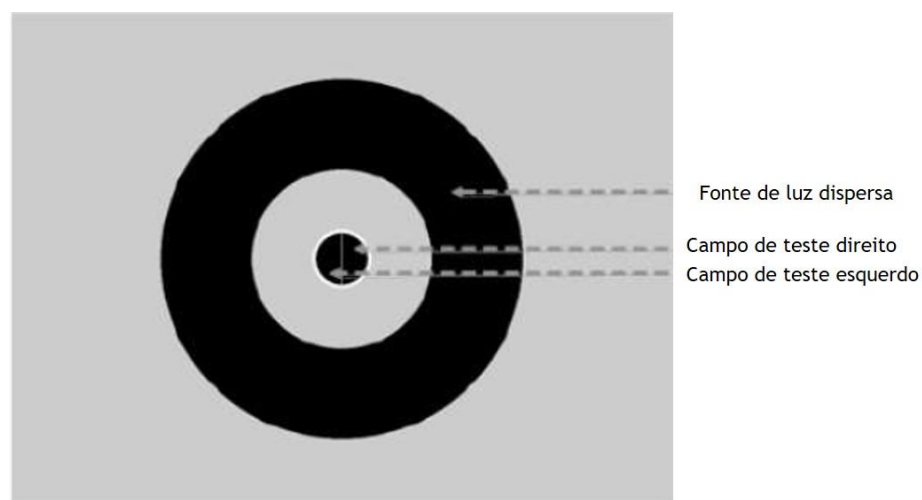


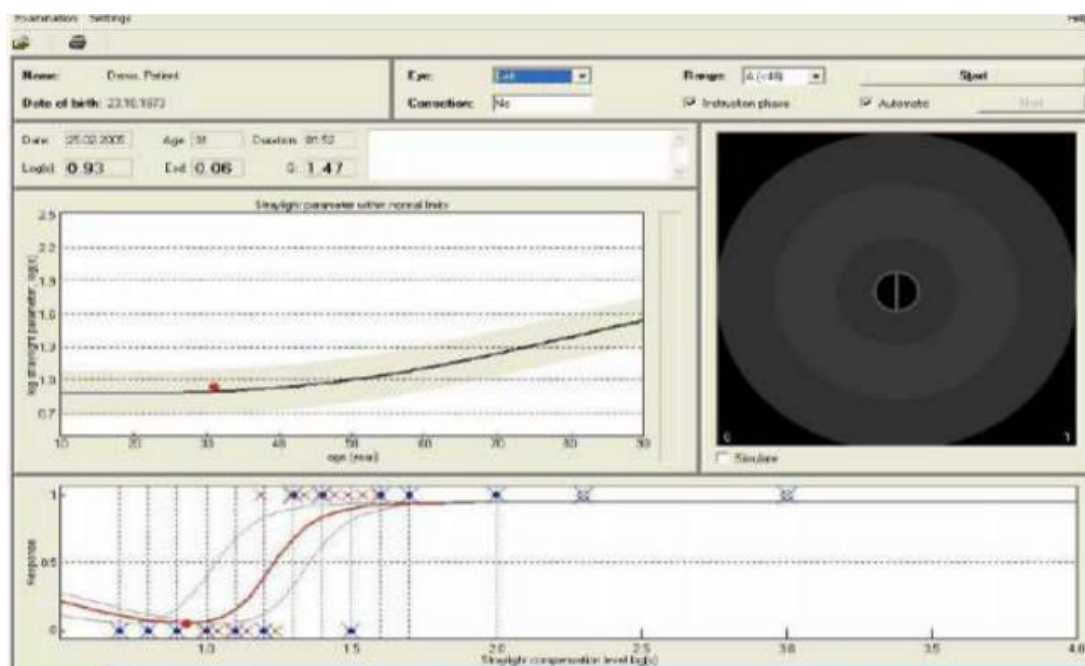
Figura 2.10 - Campo de teste apresentado no Método de Comparação Compensação. (31)

Assim que se inicia a medição do EIO, é apresentada uma fase de teste, composta por cinco estímulos-teste que permitem verificar se o paciente compreendeu as instruções que lhe foram dadas relativamente ao procedimento clínico.

Posto isto, começa o primeiro estágio da medição, designada de fase escura ou fase inicial, onde a quantidade de luz de compensação existente no hemisfério é fixa, alterando-se apenas a intensidade da luz existente no anel periférico, que aumenta progressivamente ao longo desta fase. Os pontos testados nesta fase são fixos, dependendo apenas da faixa etária escolhida para

cada paciente. Assim, ao ser necessário repetir o teste, se a faixa for mantida, os estímulos da fase escura permanecem os mesmos. (3,31,32)

A outra fase deste teste denomina-se de fase clara, onde a intensidade do anel permanece constante no máximo alcançado na fase anterior, a fase escura, variando aqui a intensidade da luz de compensação no hemisfério central. À medida que o paciente responde ao teste no equipamento, as respostas dadas pelo mesmo aparecem na tela do computador que possui o software específico para esta medição, permitindo ao observador ir avaliando os resultados do teste, bem como as alterações na curva psicométrica gerada pelo sistema. Esta vai sendo ajustada às respostas sempre que o sistema recebe novos dados. Assim, é possível ao observador ir verificando se existe algum problema com a medição do EIO, e interromper o teste caso seja necessário. (3,31,32) Na figura 2.11 a) e b) está representado um exemplo da tela de teste gerada pelo software do equipamento, com todos os dados clínicos resultantes da medição do EIO, bem como o respectivo equipamento de medição.



(a)

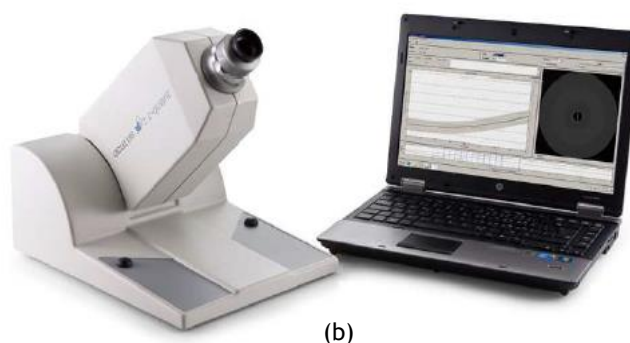


Figura 2.11 - a) Exemplificação da medição do EIO pelo C-Quant. O campo de teste, situado à direita na imagem reproduz durante a medição, aquilo que o paciente vê dentro do equipamento, permitindo ao examinador acompanhar passo a passo todo o processo de medida; b) Equipamento de medição do EIO - C-Quant; (31)

Sendo este método controlado por um software apropriado, como já foi referido anteriormente, as respostas dadas pelos pacientes são transformadas em respostas binárias, ou seja, variam entre 0 e 1. É atribuído pelo software do teste o valor 0, caso o paciente escolha como o lado que pisca mais forte, o lado sem compensação. Por sua vez, se o lado que pisca mais forte para o paciente é o lado com compensação, o software atribui o valor 1 à sua resposta. (3,31)

## 2.4 Aberrações Óticas vs. Espalhamento da luz

As diferenças existentes nos índices de refração que caracterizam o espalhamento da luz que ocorre na córnea e no cristalino, podem ser convertidas em diferenças de trajetória ótica de ondas planas que entram nos meios oculares por efeitos de espalhamento da luz, resultando deste modo numa onda distorcida devido à dispersão da mesma. (5)

A PSF do olho humano tem recebido uma atenção considerável, uma vez que a qualidade de visão pode, em grande parte, ser entendida com base na análise da PSF. Esta define a qualidade da imagem da retina, que é o ponto de partida para o processo visual. Embora o espalhamento da luz tenha uma natureza aleatória, devido aos raios incidentes sofrerem deflexão em relação à sua origem e se situarem dentro de um cone de largura angular da ordem de  $1^\circ$ , é possível caracterizá-la de forma objetiva através da medição da sua PSF em função do ângulo de espalhamento. Num olho considerado normal, a AV é da ordem de 1 minuto de arco, correspondendo ao núcleo mais central da PSF. A SC é frequentemente testada em frequências espaciais até cerca de 3 ciclos/grau. No início do século XX e posteriormente através de estudos desenvolvidos por Vos, van der Berg, Elliott e Bullimore, percebeu-se que também a parte externa da PSF para ângulos superiores a  $1^\circ$ , tinha importância funcional. Esta parte foi denominada de espalhamento, sendo a causa de problemas de encandeamento, e de muitas outras queixas visuais. (33)

Ao comparar-se o efeito do espalhamento da luz na córnea e no cristalino com as aberrações óticas na qualidade da imagem retiniana, deve ter-se em conta duas diferenças principais, sendo elas a distribuição angular e o efeito do tamanho pupilar. No que diz respeito à distribuição angular do espalhamento de luz e da PSF ótica, estas podem variar de indivíduo para indivíduo, originando a que a luz espalhada tenha uma distribuição angular maior na retina quando comparada com a distribuição de luz resultante da PSF ótica. Enquanto que a PSF ótica de um olho apenas com aberrações raramente excede os 10 minutos de arco, o espalhamento da luz é normalmente avaliado sobre ângulos que se estendem além dos 30 minutos de arco. Relativamente ao efeito do tamanho pupilar, e tendo em conta o pequeno tamanho que caracteriza as partículas de dispersão da luz, esta considera-se uma “distorção local”, enquanto que as aberrações óticas originam uma distorção mais “global” no que diz respeito à função pupilar. Se as partículas espalhadas pela luz estiverem uniformemente distribuídas através da pupila, pode dizer-se que o espalhamento da luz é um fenómeno que não é afetado pelo tamanho pupilar, enquanto que a redução da qualidade da imagem retiniana causada por aberrações óticas depende fortemente do tamanho pupilar. (5,34) A figura 2.12 representa a PSF e o efeito da mesma no EIO e nas AO do olho humano.

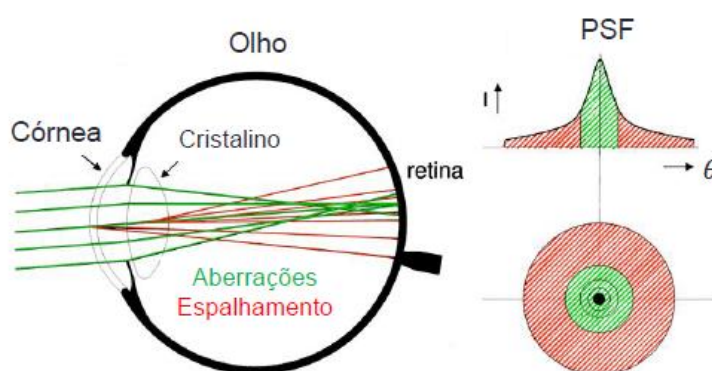


Figura 2.12 - Representação do efeito do EIO e das AO na PSF do olho humano. Na imagem o EIO corresponde às caudas da PSF ( $\theta > 1^\circ$ ) onde existe também interferência da SC. O efeito das aberrações está limitado a  $\theta < 10$  min arco. (19)

Tal como já foi referido mais acima, um SO caracteriza-se pela sua PSF, tendo como princípio básico a visualização de um ponto noutro ponto infinitamente pequeno no plano imagem. A natureza ondulatória da luz, bem como, as AO e o EIO reduzem a qualidade da imagem na retina e provocam um alargamento da PSF. Por forma a avaliar o efeito de cada fenómeno ótico na qualidade da imagem retiniana, utiliza-se a Função de Transferência de Modulação (MTF, do inglês, *Modulation Transfer Function*). Esta pode ser calculada a partir da transformada de Fourier da PSF, que descreve a redução do contraste de uma rede sinusoidal com uma frequência espacial específica captada através do SO. (4) O desempenho visual do olho humano

é afetado pelo envelhecimento, existindo estudos que indicam que a MTF para todo o olho deteriora-se com a idade, dos 20 aos 70 anos, originando o decaimento da função. (25,35,36)

Pode calcular-se a MTF do olho, separando e avaliando o efeito dos diferentes fenómenos óticos mencionados no início deste capítulo (4):

$$MTF_{(olho)} = MTF_{(Difração)} \times MTF_{(AO)} \times MTF_{(EIO)} \quad (2.4)$$

Tendo em conta que, normalmente a difração e as aberrações são avaliadas através da mesma MTF, descrevendo esta a propagação das ondas através do olho, a expressão anterior pode resumir-se no seguinte (4):

$$MTF_{(olho)} = MTF_{(Ótica)} \times MTF_{(EIO)} \quad (2.5)$$

## 2.5 Sensibilidade ao Contraste

A AV de alto contraste não descreve de forma completa, nem na sua totalidade a função visual dos indivíduos. (37,38) Em diversas circunstâncias, mesmo quando a AV é normal, a função de SC pode revelar anomalias na visão. (39-42) A SC é a capacidade do indivíduo distinguir diferenças de luminância em áreas adjacentes, fornecendo uma avaliação mais abrangente da visão espacial. (43) Nomeadamente, uma das situações em que a AV pode não detetar uma situação anormal na função visual, é quando o EIO aumenta. (44,45)

A MTF do olho humano é muitas vezes mencionada como uma função de SC, uma vez que a sensibilidade, e não o contraste da imagem, é passível de ser medida. Deste modo, a fim de obter esta medição, é normalmente pedido aos pacientes que visualizem um monitor que inicialmente exibe uma rede de frequências espaciais com um contraste tão baixo que não é perceptível pelos pacientes, conseguindo estes, apenas ver a tela brilhante do teste. Desta forma, o examinador aumenta lentamente o contraste até atingir um ponto onde a rede é vista, parecendo esta surgir em segundo plano. O recíproco deste limiar de contraste é a SC para a rede. Os limiares são determinados para um grande número de frequências espaciais diferentes, resultando num gráfico que mostra a SC como uma função da frequência espacial, como se pode observar na figura 2.13. (43)

A função de SC de um olho humano adulto, é uma função passa-banda, mostrando o seu pico máximo de sensibilidade aproximadamente nos 4 ciclos / grau, diminuindo a sensibilidade em ambos os lados desse pico. O olho humano deteta uma rede espacial de cerca de 4 ciclos / grau num contraste menor do que o necessário para a deteção de outras frequências. Isto é ilustrado adicionalmente na figura 2.14. (43)



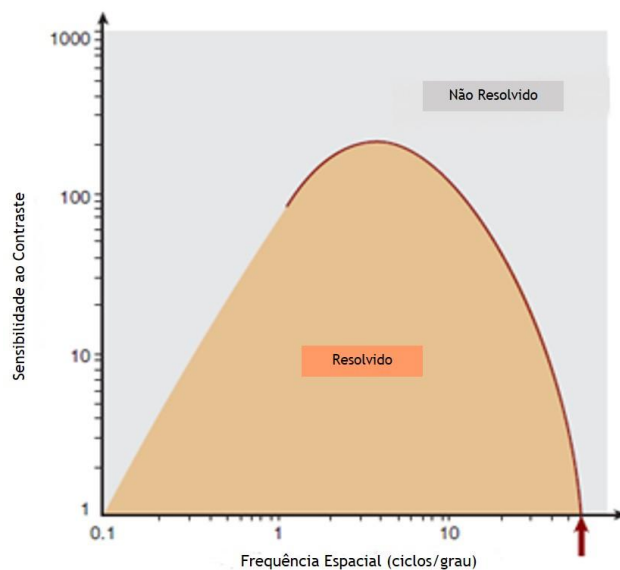


Figura 2.13 - Curva característica de SC do olho humano. A seta indica o corte de alta frequência desta função. O valor do contraste no eixo das ordenadas é dado em log e o eixo das abcissas representa um contraste de 100%. Adaptado de (43)

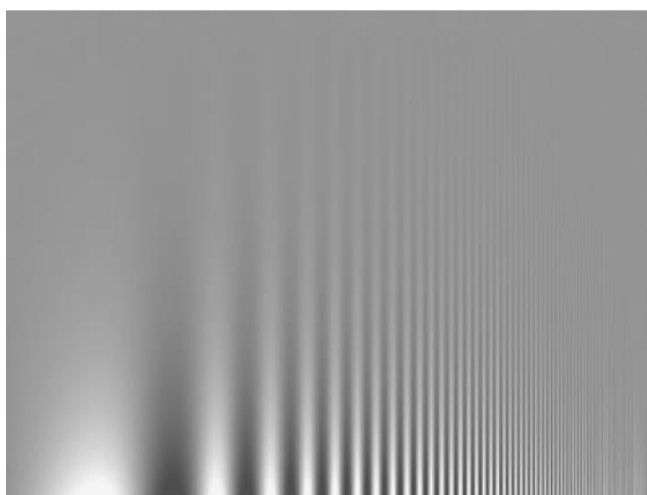


Figura 2.14 - Rede espacial que demonstra a função de SC. O contraste aumenta de cima para baixo, e a frequência espacial aumenta da esquerda para a direita. As frequências espaciais moderadas são vistas em contrastes mais baixos do que as frequências espaciais baixas ou altas. Adaptado de (43)

O teste de SC é normalmente realizado em condições fotópicas. Em 1967, os resultados de Van Nes e Bouman mostraram um declínio constante na SC do olho à medida que diminuía a luminância, levando a que existisse também uma mudança na resposta do pico de sensibilidade em relação às frequências mais baixas. Posteriormente, em 1998, Sloane e outros autores, nos estudos que realizaram, verificaram resultados semelhantes. (20) Assim, torna-se cada vez mais útil na prática clínica a medição da SC, permitindo obter melhores dados clínicos relativos à função e qualidade ótica dos pacientes.

Todos os parâmetros de qualidade visual aqui abordados, nomeadamente, o EIO, as AO e a SC têm influência na qualidade ótica do olho. Nos casos em que os pacientes apresentem patologias, como a catarata ou no caso deste estudo específico, a Diabetes, mais influência terão na qualidade ótica retiniana. No capítulo 3, será então analisada a influência desta patologia nos diversos parâmetros óticos aqui abordados, bem como na qualidade visual dos pacientes com Diabetes Mellitus (DM).

## 3. A Diabetes e a sua influência nos parâmetros de qualidade visual

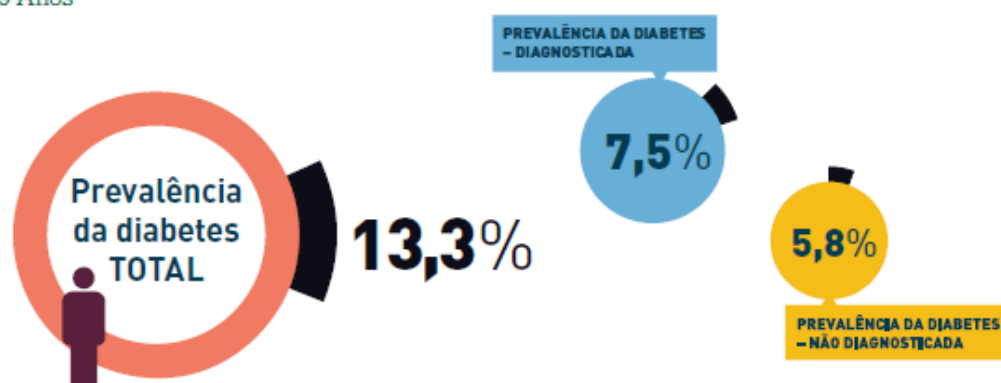
### 3.1 Diabetes Mellitus

A DM é uma doença crónica de importância mundial, que nos últimos anos se tem tornado num dos mais sérios problemas de saúde pública, estando a tomar proporções crescentes no que se refere ao aparecimento de novos casos (46,47) e constituindo atualmente uma das principais causas de cegueira no mundo. No entanto, apesar desta patologia ser algumas vezes assintomática, é possível preveni-la e nos casos de deteção da doença, recorrer a possíveis tratamentos.

As estimativas recentes da Federação Internacional da Diabetes mostram que atualmente existem 415 milhões de pessoas com Diabetes no mundo, revelando ainda projeções que sugerem que em 2040, o número de adultos com Diabetes aumentará para 642 milhões. (48) No ano de 2015, a prevalência estimada da Diabetes na população portuguesa com idades compreendidas entre os 20 e os 79 anos (7,7 milhões de indivíduos) foi de 13,3%, isto é, mais de 1 milhão de portugueses neste grupo etário tem Diabetes. (49) Na figura 3.1, é possível observar de modo simplificado, as estatísticas referentes à prevalência da DM em Portugal no ano de 2015.

#### Prevalência da Diabetes em Portugal – 2015

População 20-79 Anos



FONTE: PREVADIAB – SPD; Tratamento OND (Ajustada à Distribuição da População Estimada)

Figura 3.1 - Prevalência da Diabetes em Portugal segundo dados do Relatório Anual do Observatório da Diabetes - Edição de 2016. (49)

Define-se a DM como uma doença crónica metabólica caracterizada por hiperglicemia resultante de defeitos na secreção de insulina devido à destruição autoimune das células B do pâncreas, na sua ação ou em ambos. A hiperglicemia crónica está associada a longo prazo a problemas de saúde, entre os quais disfunções ou falhas de diferentes órgãos, em especial os olhos, rins, nervos, coração e vasos sanguíneos. (50)

Consideram-se três tipos de DM: a DM Tipo 1, que afeta maioritariamente crianças e jovens; a DM Tipo 2, que surge já em idade adulta e relaciona-se em grande parte com os hábitos de vida da população e a DM Gestacional.

A DM Tipo 1 surge devido aos processos de destruição das células beta do pâncreas por meio de uma reação autoimune, em que a insulina é necessária para a sobrevivência e para prevenir o desenvolvimento de cetoacidose, coma e morte. As células beta produzem, assim, pouca ou nenhuma insulina, a hormona que permite que a glicose entre nas células do corpo. Esta doença pode afetar pessoas de qualquer idade, mas ocorre geralmente em crianças ou adultos jovens de forma repentina e sintomática, sendo a cetoacidose diabética, considerada o sintoma mais grave podendo mesmo levar à morte. O Tipo 1 é menos frequente do que o Tipo 2, mas a sua incidência está a aumentar, embora os motivos não sejam completamente conhecidos. (49)

A DM Tipo 2 é a forma mais comum de diabetes e é caracterizada por distúrbios da ação e/ou secreção de insulina, sendo que ambos estão geralmente presentes no momento em que esta forma de diabetes se manifesta. O diagnóstico ocorre geralmente após os 40 anos de idade, podendo ser assintomática durante vários anos. A Diabetes Tipo 2 é muitas vezes, mas nem sempre, associada à obesidade, que pode, por si, causar resistência à insulina e provocar níveis elevados de glicose no sangue. Ao contrário do Tipo 1, as pessoas com Diabetes Tipo 2 não são dependentes de insulina exógena e não são propensas a cetose, mas podem necessitar de insulina para o controlo da hiperglicemia se não o conseguirem através da dieta associada a antidiabéticos orais. O aumento da prevalência da Diabetes Tipo 2 está associado às rápidas mudanças culturais e sociais, ao envelhecimento da população, bem como a outros padrões comportamentais. (49)

A Diabetes Gestacional (DG) corresponde a qualquer grau de anomalia do metabolismo da glicose documentado, pela primeira vez, durante a gravidez. É caracterizada normalmente por um certo grau de resistência à insulina que pode ser devido a uma combinação de tecido adiposo materno e efeitos dessensibilizantes de várias substâncias que são produzidas pela placenta. (49)

Uma das principais complicações microvasculares ligadas à DM é a Retinopatia Diabética (RD), sendo atualmente uma das maiores causas de cegueira no mundo. Após 20 anos de duração da DM, ocorre em 99% dos pacientes com DM Tipo 1 e em 60% dos pacientes com DM Tipo 2. Representa uma complicação crónica que tem início nos capilares retinianos pelo

comprometimento da barreira hemato-retiniana. Em qualquer estágio da RD pode ocorrer uma diminuição considerável da AV causada por Edema Macular (EM). Este é definido pela presença de espessamento retiniano por acumulação de líquido no centro da mácula, e é a maior causa de diminuição da AV, principalmente em pacientes com DM Tipo 2. Quanto mais grave o estágio da RD, maior o risco de redução grave da visão. A incidência de RD Proliferativa é cerca do dobro em pacientes com DM Tipo 1 quando comparados com pacientes com DM Tipo 2. Não existe cura para a RD, mas quando diagnosticada a tempo, o controlo e o tratamento serão mais eficazes. (50-54)

Podem diferenciar-se 2 fases no que diz respeito à evolução da RD, nas quais se verificam diferentes lesões retinianas que evoluem de forma variável de acordo com vários fatores da história clínica dos pacientes. As alterações do fundo do olho avançam de forma progressiva, desde a RD Não Proliferativa (RDNP) até à RD Proliferativa (RDP).

Os pacientes com RDNP ainda não desenvolveram neovascularização, mas podem apresentar outro tipo de lesão comum na RD. Desta forma, esta fase progride consoante uma escala de gravidade que se caracteriza por um estado inicial considerado leve, avançando para um estado moderado e culminando na sua última fase, o estado mais grave. A identificação correta do nível de severidade da RD permite uma previsão do risco de progressão da mesma, da eventual perda visual e a determinação de recomendações de tratamento apropriadas, incluindo o intervalo de seguimento. (55)

No caso da RDP, esta considera-se a fase mais avançada da RD e representa uma resposta angiogénica da retina à isquemia extensiva da oclusão capilar. A neovascularização da retina é tipicamente caracterizada por novos vasos no disco ou noutra região da retina ao longo das arcadas vasculares. (55)

O controlo metabólico facilmente observado através da Hemoglobina Glicada (HbA1c), a duração da DM e até mesmo o tipo de DM influenciam a evolução mais rápida ou mais lenta da RD. (50) É importante referir que a HbA1c é um dos dados clínicos mais relevantes quando se fala na avaliação desta doença, pois permite avaliar o estado da DM nos últimos 3-4 meses, ou seja, avaliar o controlo glicémico nesse intervalo de tempo. Valores abaixo de 7% indicam um DM bem controlada. Quando os mesmos se encontram acima de 7% estão associados a um maior risco de complicações.

Na tabela 3.1 apresentam-se os principais achados clínicos que caracterizam cada uma das fases desta patologia visual, segundo a Classificação Internacional da RD dada pelo Conselho Internacional de Oftalmologia (do inglês, International Council of Ophthalmology). (55)

Tabela 3.1 - Principais achados clínicos das várias fases da RD. (55)

Retinopatia Diabética (RD)	Sinais e Achados Clínicos
RD não aparente	Sem achados clínicos
RDNP leve	Apenas presença de microaneurismas
RDNP moderada	Microaneurismas e outros sinais como hemorragias intra retinianas, exsudados duros e manchas algodinosas, mas em menor quantidade que na RDNP grave
RDNP grave	Sinais presentes na RDNP moderada com qualquer um dos seguintes: Hemorragias intra retinianas ( $\geq 20$ em cada quadrante); Alteração venosa definitiva (em 2 quadrantes); Anormalidades microvasculares intra retinianas (em 1 quadrante); Nenhum sinal de RDP
RD Proliferativa	Sinais presentes na RDNP grave e 1 ou mais dos seguintes: Neovascularização; Hemorragia vítrea / pré-retinal

## 3.2 Patologias, alterações biométricas, fisiológicas e óticas associadas à Diabetes Mellitus

A RD é a causa mais comum de perda de visão em pessoas com DM. No entanto, existem outras causas de perda visual, nomeadamente, patologias como o glaucoma, a degeneração macular relacionada com a idade (DMRI) e catarata, ou ainda, alterações a nível biométrico, fisiológico e ótico no olho. Estes aspetos serão descritos de seguida, embora não tenham feito parte da análise principal deste estudo.

### 3.2.1 Glaucoma

O glaucoma é a causa mais comum de cegueira irreversível e tem uma prevalência global estimada de 3,54%, sendo o tipo mais comum, o glaucoma de ângulo aberto. Este caracteriza-se pelo aumento lento da pressão intraocular (PIO) e por uma perda gradual de visão periférica resultante da morte das fibras nervosas. (56) A relação entre a DM e o glaucoma, é considerada uma questão dúbia, uma vez que, embora existam vários estudos que relatem uma associação entre ambas as patologias (57-60), outros tantos vêm contrariar esta ideia. (61-65)

A DM constitui um dos principais fatores etiológicos do glaucoma neovascular. Este, está principalmente associado à RDP e é aumentado após vitrectomias e cirurgias de cataratas. (66)

### 3.2.2 Degeneração Macular Relacionada com a Idade

A DMRI é uma das principais causas de perda visual irreversível na população idosa. Enquanto que a DMRI em estágio inicial é assintomática, na DMRI em estado mais avançado, pode ocorrer uma perda severa de visão, que é ainda classificada em DMRI neovascular e atrofia geográfica. Os fatores de risco para a DMRI incluem a DM, doenças oculares prévias e problemas cardiovasculares. Estudos realizados mostraram que a DM era um fator de risco para a DMRI, especialmente para a DMRI neovascular tardia, mas não para atrofia geográfica. (67)

### 3.2.3 Cataratas

As cataratas são a principal causa de cegueira tratável no mundo (51%), sendo a DM um dos fatores de risco para o surgimento da mesma. (68) Resultados obtidos em estudos recentes, mostraram que pessoas com DM tipo 2 possuíam maior risco de desenvolver cataratas corticais e subcapsular posterior. (69) De facto, uma maior duração da DM e um controlo glicémico mais fraco aumentam esse risco. (70) A catarata em forma de "flocos de neve" observa-se principalmente em jovens com DM tipo 1. (71) Embora a cirurgia apresente bons resultados a nível visual, em pessoas com DM pode levar a uma progressão da RD e a um aumento de quatro vezes o EM. (72)

### 3.2.4 Filme Lacrimal

Algumas manifestações oculares da DM estão associadas à disfunção da glândula lacrimal, estando relacionadas muitas vezes com problemas de olho seco. Vários estudos clínicos demonstraram que pessoas com DM são mais vulneráveis ao olho seco do que indivíduos sem a patologia. (73-76) As alterações mais frequentes da função do filme lacrimal são a redução da secreção de lágrimas, a instabilidade do filme lacrimal e a redução da sensibilidade corneana, levando desta forma a alterações na qualidade de imagem retiniana. (73-75)

### 3.2.5 Córnea

A DM tem efeitos importantes em cada estrutura da córnea, levando a que os pacientes com esta patologia apresentem sinais significativos e característicos, como defeitos epiteliais, erosões epiteliais recorrentes, reepitelização tardia, cicatrização tardia das lesões, aumento da fragilidade epitelial, sensibilidade reduzida, funções de barreira epitelial e endotelial alteradas, úlceras, edema e aumento da suscetibilidade a lesões corneanas. (77,78) Todos estes sinais afetam aspetos morfológicos, metabólicos, fisiológicos e clínicos da córnea. Os sinais mencionados estão incluídos na definição de Queratopatia Diabética, que afeta mais de 70% dos pacientes com DM. (79)

### 3.2.6 Cristalino e estado refrativo do olho

Pacientes com DM apresentam queixas frequentes de desconforto e visão turva em certas atividades, como a leitura ou a condução, mesmo quando usam a sua compensação habitual. Uma redução rápida da glicémia pode causar um agravamento tanto do estado de RD como de alterações refrativas, levando à diminuição frequente da AV. As alterações refrativas ocorrem frequentemente em pessoas com DM e podem ser agudas ou de longo prazo. (80) Tal como já foi referido anteriormente, a catarata é uma das causas de perda visual na DM. Acrescentando a este facto, um deficiente controlo glicémico, isto conduz a alterações refrativas e consequente alteração da potência dióptrica do cristalino. A acumulação de sorbitol no mesmo, leva a refrações hipermetrópicas nos pacientes com DM. (81)

### 3.2.7 Humor Vítreo

O vítreo é uma matriz de gel hidratada composta por uma rede complexa de colagénio reticulado (tipos II, V, IX e XI), fibrilhas e o glicosaminoglicano hidrofílico e hialurano. Com o envelhecimento ou o desenvolvimento de patologias, o humor vítreo pode sofrer liquefação devido a alterações bioquímicas e fisiológicas que causam a dissociação do colagénio e do hialurano. Estas alterações levam à manifestação de opacidades numa estrutura ótica que é normalmente transparente. (80) A hiperglicemia pode ter um papel importante e direto na patologia vítrea, alterando a estrutura e a função da rede de colagénio através de glicose aumentada (glicosilação não enzimática) e reticulação anormal das fibrilhas de colagénio resultando em desestabilização vítrea. (82-85)

### 3.2.8 Amplitude de Acomodação

A acomodação é a capacidade que o cristalino possui de alterar o seu poder refrativo para a focagem de objetos próximos. Esta capacidade diminui com o envelhecimento como resultado da rigidez do cristalino, e leva à presbiopia a partir dos 40 anos. As pessoas com uma menor amplitude de acomodação (AA) têm dificuldades de visão sobretudo nas tarefas realizadas com a visão de perto. Uma menor AA pode ocorrer em pessoas com DM quando comparadas com pessoas sem diabetes. A duração da diabetes é tão importante quanto a idade na redução da AA. (86)

### 3.2.9 Campos Visuais e Visão das Cores

Estudos realizados mostraram que a DM tem influência no CV, nomeadamente levando à deterioração do mesmo. (87) No que diz respeito à visão das cores, a DM e por sua vez a RD, leva à existência de alterações da capacidade discriminativa das cores nos pacientes com DM, quando comparados com indivíduos sem DM. A alteração que primeiro se produz é no eixo azul-amarelo, sendo o vetor Tritan o mais afetado, podendo em alguns casos existir também alteração de toda a visão cromática. (88)



### 3.3 Influência da Diabetes nos parâmetros de qualidade visual

Atualmente, a avaliação objetiva da qualidade ótica do olho despertou grande interesse na prática clínica. O SO do olho tem algumas limitações devido à sua forma e à composição dos seus meios. Fenômenos como a difração, aberrações e espalhamento da luz influenciam a qualidade da imagem da retina, afetando o desempenho visual dos pacientes. Nos olhos humanos, é possível melhorar a qualidade da imagem minimizando as aberrações e o EIO, mas é impossível ultrapassar os limites de qualidade de imagem devido à difração. Tanto as aberrações quanto o espalhamento, e por sua vez a qualidade ótica da imagem retiniana, são afetadas pela DM. (80)

As estruturas oculares responsáveis pela manutenção de uma boa qualidade visual (filme lacrimal, córnea, cristalino, vítreo e retina) sofrem numerosas alterações morfológicas, estruturais e fisiológicas durante a evolução da DM. Tais mudanças podem alterar a qualidade visual das pessoas com DM por meio de aumento das aberrações de alta ordem e espalhamento ocular, conforme é verificado em alguns estudos. Até agora, não há valores padronizados em pessoas com DM, mas as novas tecnologias óticas fornecem um método rápido, objetivo e não invasivo para avaliar a contribuição das aberrações de alta ordem e espalhamento ocular para a qualidade ótica da imagem da retina e estabelecer a linha de base para pessoas com DM. (80,89)

#### 3.3.1 Espalhamento Intraocular

O EIO é a variável física que mostra o efeito do brilho. Quanto maiores os valores de espalhamento, maior a sensibilidade ao brilho. Estudos mostram que talvez exista uma relação entre o EIO e o valor de HbA1c. Deste modo, se os pacientes tiverem um fraco controle glicêmico (HbA1c acima de 7%), isso pode conduzir a que seja detectado um maior espalhamento da luz no olho, como é mostrado na figura 3.2. O espalhamento da luz ocorre como resultado da turvação do meio e, portanto, pode ser um melhor indicador de uma mudança no nível de glicose. (18,22,90,91)

Estudos realizados por Morishige, Takahashi e outros autores, mostraram que através da medição do espalhamento da luz em pacientes com DM, estes apresentavam valores significativamente maiores quando comparados com pacientes sem DM. Observaram também que este valor estava correlacionado com a gravidade da RD, mas não com a duração da DM, com os níveis de glicose no sangue em jejum ou com os níveis de HbA1c, sugerindo que o mesmo aumenta com a fase de RD. (92,93)

Outra causa de espalhamento da luz num olho normal é a produzida pelo cristalino. Com a idade, o cristalino perde a sua transparência devido à esclerose nuclear, tornando-se amarelo e termina com possível desenvolvimento de cataratas prematuras em pessoas com DM. Weiss, no estudo que desenvolveu, observou maior espalhamento de luz em pacientes com DM, em

que os resultados demonstraram que os jovens com DM parecem ter valores de dispersão semelhantes aos idosos sem DM. (94)

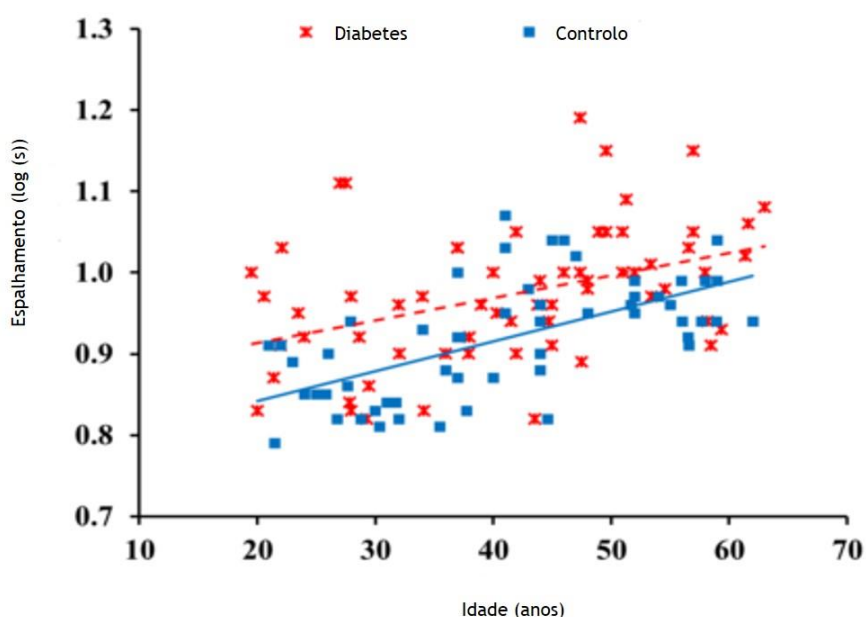


Figura 3.2 - EIO da luz em função da idade, comparando pacientes com e sem Diabetes. Grupo com DM:  $Y = +0,006 (\pm 0,002) \text{ Idade} + 0,70 (\pm 0,08)$ ,  $R^2 0,17$ ,  $p < 0,01$ ; Grupo de controlo:  $Y = +0,007 (\pm 0,001) \text{ Idade} + 0,53 (\pm 0,06)$ ,  $R^2 0,36$ ,  $p < 0,01$ . Os valores entre parênteses representam erros padrão. Adaptado de (18)

Na tabela 3.2 é apresentado um resumo dos resultados obtidos em alguns dos estudos feitos sobre EIO em pacientes com e sem DM.

Tabela 3.2 - Resultados clínicos de estudos sobre EIO em pacientes com e sem DM.

Autor	Nº de participantes e idade	Alterações no EIO
Adnan <i>et. al.</i> (18)	63; 19-63	Maior espalhamento quando comparados com pacientes sem DM.
Morishige, Takahashi <i>et. al.</i> (92,93)	65; média de idades 62.1 anos 40; -	Maior valor de log(s) em pacientes com DM em comparação com pacientes sem DM. O valor do log(s) encontra-se relacionado com a gravidade da RD e não com a duração da DM.
Weiss (94)	38; -	Maior espalhamento da luz em pacientes com DM, em que os jovens com DM apresentam valores de log(s) semelhantes a pessoas idosas sem DM.

### 3.3.2 Sensibilidade ao Contraste

Pacientes com DM podem apresentar queixas de distúrbios visuais apesar de terem uma AV de 6/6 ou melhor. Esta situação afeta as atividades diárias quando há diferentes níveis de contraste e em condições de iluminação mais fracas. No entanto, é uma alteração precoce e reversível, que pode ocorrer em indivíduos sem RD, progredindo ao longo do tempo e podendo melhorar com um bom controle glicêmico. (95,96)

Na RD, a SC é reduzida, e desta forma o teste de medição da SC tem-se comprovado útil para o diagnóstico precoce e avançado da RD. Além disso, a SC é conhecida por ser significativamente prejudicada em pacientes com DM sem RD definitiva. Deste modo, Katz e outros autores sugeriram que o teste de SC pode ser uma ferramenta importante para a detecção precoce de alterações antes que a RD ocorra. Descreveram também que esse comprometimento pode ser causado por danos neuronais ao nível dos fotorreceptores antes de se expressar microangiopatia clinicamente detetável na retina de pacientes diabéticos. (97)

### 3.3.3 Aberrações Oculares

A qualidade da imagem formada na retina é determinada pela combinação de aberrações corneais (superfície anterior do olho) e internas (superfície corneal posterior e cristalino). Na presença de alterações corneais e/ou do cristalino, a estrutura ótica do olho é alterada, provocando alterações nas AO. (98)

Como mencionado anteriormente, as pessoas com DM têm uma série de alterações morfológicas, estruturais, metabólicas e fisiológicas nas diferentes estruturas oculares. Embora existam poucos estudos que relacionem essas alterações com o impacto que as mesmas provocam na qualidade visual, as pessoas com DM sofrem variações nos níveis de glicose no sangue, causando alterações nos componentes esférico e cilíndrico da refração, tanto de forma aguda como a longo prazo. Estas alterações são também conhecidas como aberrações de ordem inferior e representam aproximadamente 90% das AO totais. (99,100)

Embora as aberrações de ordem superior (HOAs, do inglês *Higher Order Aberrations*) façam uma pequena contribuição de cerca de 10% na aberração total do olho, alguns autores têm mostrado um grande efeito de degradação na qualidade da imagem retiniana que, por sua vez, afetam a AV. Fatores como o envelhecimento, alterações na acomodação, fotorreceptores, pupilas, cirurgia refrativa e filme lacrimal, podem contribuir para alterações nas AO. Embora não exista nenhum estudo que tenha avaliado o impacto que estes fatores poderiam ter sobre as HOAs em pessoas com DM, estas apresentam um cristalino mais espesso e mais convexo, podendo desenvolver catarata prematura, estando a duração da DM associada a esse desenvolvimento, e sofrem um conjunto de alterações associadas à disfunção da glândula lacrimal e síndrome do olho seco. (25,101-115).

A tabela 3.3 sumariza os achados clínicos no que diz respeito às AO em estudos realizados a pacientes com DM.

Tabela 3.3 - Resultados clínicos de estudos sobre AO em pacientes com e sem DM.

Autor	Nº de participantes, idade	Alterações nas AO
Adnan <i>et. al.</i> (18)	46; 20-63	Diferenças em alguns coeficientes de HOA quando comparados com pessoas sem DM, sem aumentos significativos no RMS de HOA.
Calvo-Maroto <i>et. al.</i> (80,98)	18; - 7; -	Foram medidas AO internas, corneais e totais e os resultados indicam que pacientes com DM apresentam valores mais altos de Coma Vertical total e interno, sendo o Coma Vertical interno o maior contribuinte das HOA totais.
Shahidi <i>et. al.</i> (99)	22; média de idades 52 anos	As HOA apresentaram resultados aumentados nos pacientes com DM e a presença de AO deve-se a alterações da doença na ótica do olho.
Wiemer <i>et. al.</i> (100)	25; -	Após avaliação das HOA, bem como da forma da córnea e do cristalino durante a presença e ausência de hiperglicemia e visão turva, apenas 4 pacientes apresentaram aumento significativo das HOA. Contudo, estas alterações não levaram a mudanças no desempenho visual dos pacientes.

A análise de frente de onda é uma ferramenta útil para avaliar a qualidade ótica do olho. As medições de HOA mostram as consequências das alterações oculares na qualidade visual. Assim, nos olhos diabéticos, os valores de HOA podem aumentar devido a alterações na ótica do olho relacionadas com a doença. (98)

## 4. Métodos

### 4.1 Introdução

Ao longo deste capítulo serão explicados todos os métodos e materiais utilizados para a recolha de dados deste estudo, bem como todo o protocolo efetuado. Como será referido adiante, este trabalho consiste num estudo caso-controlo, em que a população em estudo é portadora de DM. Assim, e sendo estes pacientes referenciados pela consulta de diabetologia para o rastreio de RD no Ubimedical, é importante referir que a recolha de dados deste grupo foi efetuada mediante o protocolo de rastreio habitual. Neste protocolo não estão incluídos testes como a medição do EIO pelo C-Quant nem a SC, pelo que os mesmos foram introduzidos de modo a ser possível realizar a recolha de dados.

Contudo, e tendo em atenção o facto de ser um rastreio e não tornar o mesmo muito demorado para os pacientes estes passaram, obrigatoriamente, pela aberrometria, pois é um teste integrante do protocolo de rastreio. No entanto nem todos passaram pelo C-Quant. É de referir que, tanto o grupo de estudo como o grupo de controlo analisados neste trabalho passaram de igual forma por todos os testes. Ambos os grupos foram informados do protocolo de testes, lendo e assinando um consentimento informado que se encontra disponível para consulta nos Anexos.

Analisou-se tanto no grupo de estudo como no controlo, variáveis como o log(s), que permite a avaliação do EIO, aberrações de 3ª e 4ª ordem como, Coma horizontal e vertical, Trifólio vertical e oblíquo e AE, respetivamente, e ainda o parâmetro do HORMS. Posto isto, foram realizadas medições de EIO pelo C-Quant e medições de aberrometria através do Aberrómetro Topógrafo Corneano OPD Scan III da Nidek. A AV em alto e baixo contraste foi também medida em escala LogMar. Todos estes parâmetros foram avaliados para ambos os grupos. Foram ainda recolhidos os valores de HbA1c dos pacientes com DM, através das análises clínicas ao sangue solicitadas aos mesmos para o dia dos rastreios. As técnicas de medição e especificações das mesmas são descritas nas secções seguintes.

### 4.2 Participantes

Sendo este estudo, um estudo caso-controlo, a população controlo foi constituída por pacientes sem patologias com impacto na visão, por forma a realizar a comparação dos vários dados de qualidade visual. Por sua vez, a população em estudo foi constituída por pacientes com Diabetes Tipo 2. Neste grupo, foram selecionados pacientes diabéticos da consulta de diabetologia do ACES Cova da Beira, que foram sinalizados por esta instituição para o rastreio, numa amostra de 50 pacientes. Relativamente ao grupo de controlo, este foi constituído por uma amostra de 30 pacientes. Todos os procedimentos clínicos realizados no protocolo de testes deste estudo, foram executados de igual forma para ambos os grupos.

### 4.3 Materiais e equipamentos

A recolha de dados foi efetuada nos Laboratórios de Ciências da Visão do Ubimedical, e decorreu entre os meses de dezembro de 2016 e julho de 2017.

Para este estudo foram utilizados os seguintes equipamentos: Aberrómetro Topógrafo Corneano OPD Scan III da Nidek; Lâmpada de Fenda HS5000 com sistema de aquisição de imagem da Huvitz; Frontofocómetro digital LM500 da Nidek; Monitor de Optotipos CSO Vision Chart Mod. CVC03 da CSO; C-Quant (Cataract Quantifier) da Oculus.

### 4.4 Critérios de Exclusão

Relativamente aos critérios de exclusão do estudo, foram excluídos os pacientes que apresentavam catarata ou cirurgia à mesma e AV decimal, com a compensação habitual, pior que 0,5 e/ou RDNP moderada ou grave ou RDP. Eram ainda excluídos em ambos os grupos, os participantes que apresentassem idade inferior a 40 anos.

### 4.5 Aberrometria

A aberrometria é um dos testes integrantes do protocolo de rastreios da RD e é pelo mesmo que se iniciam os procedimentos clínicos. Para a realização deste teste, é usado o Aberrómetro Topógrafo Corneano OPD Scan III da Nidek. Este equipamento mede a refração objetiva, a curvatura corneana, o formato do segmento anterior (topografia) e o tamanho da pupila do olho do paciente e ainda analisa AFO.

#### 4.5.1 Procedimento clínico da aberrometria

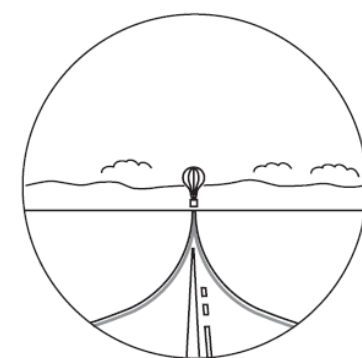
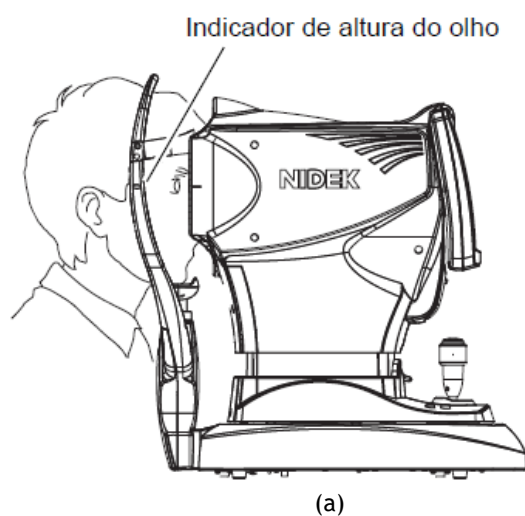
O OPD Scan III para além de usar o princípio de retinoscopia dinâmica, possui também a funcionalidade de topógrafo corneano integrado, permitindo assim a recolha de dados ao nível da topografia corneana. Embora tenha sido realizado este procedimento, uma vez que faz parte do protocolo de rastreio, o mesmo não fará parte da análise de dados deste estudo.

Antes da realização das medidas, é necessária a preparação do paciente para o teste, bem como a sua correta adaptação ao equipamento.

O procedimento é iniciado com uma desinfeção do apoio da testa e do queixo, e é pedido ao paciente que retire a sua compensação e se sente junto ao equipamento. É solicitado ainda, que posicione o queixo o mais encostado possível no apoio respetivo e a testa no apoio para a mesma. Assim, é possível ajustar de forma correta o paciente, para permitir que os olhos fiquem devidamente alinhados com o indicador de altura do olho, como está exemplificado na figura 4.1 a). Após ter sido feita a adaptação do paciente ao equipamento, é-lhe explicado o funcionamento do teste, bem como as indicações que deve seguir. Desta forma, é solicitado ao paciente que pisque uma vez os olhos e de seguida os mantenha bem abertos durante a medição. Dentro do equipamento surgirá na janela de medição, a imagem de um balão, a qual

deverá ser fixada pelo paciente durante todo o teste (figura 4.1 b)). (116) Por fim, inicia-se a medição, onde o examinador apenas terá de controlar questões de alinhamento relativas a parâmetros de avaliação do aberrômetro através de um joystick, uma vez que toda a medição é realizada de forma automática.

Foram realizadas várias medições pelo OPD-Scan III para cada um dos olhos dos pacientes, sendo no final do procedimento, gerado um conjunto de valores representativos da sua refração e os resultados das AO do mesmo.



Optótipo de paisagem

(b)

Figura 4.1 - (a) Representação do ajuste do paciente ao equipamento; (b) Alvo de fixação que surge ao paciente durante a medição da aberrometria pelo OPD Scan III da Nidek. (116)

### 4.5.2 Características técnicas do OPD Scan III

O OPD Scan III da Nidek apresenta aspetos técnicos do ponto de vista clínico que importam ser destacados. Deste modo, na tabela 4.1, é possível observar de forma sumária, algumas destas características.

Tabela 4.1 - Características técnicas do OPD Scan III. (14)

Detalhes da Medição	Nº máximo de pontos medidos	1440
	Velocidade de medição	< 0,4 segundos
	Tamanho máximo de medição pupilar (mm)	6
	Verificação automática da qualidade da medição	Sim
	Controlo acomodativo	Desfocagem
Alinhamento	Eixo de medição	Eixo visual
	Estímulo de fixação para o paciente	Balão
	Procedimento de alinhamento para o examinador	Pontos paralelos à pupila do paciente
Detalhes de Cálculo	Nº de polinómios de Zernike usados	27 (6ª ordem)
	Tamanho pupilar para os polinómios de Zernike	6 mm

## 4.6 Espalhamento Intraocular

Para a realização da medição do EIO recorreu-se ao uso do C-Quant. Para tal, foi utilizado o método comparação compensação, presente neste equipamento, e que já foi explicado anteriormente no capítulo 2.

Realizaram-se, na maioria dos casos, duas medições para cada olho do paciente. Iniciou-se a medição do EIO pelo olho direito (OD) e de seguida mediu-se o olho esquerdo (OE), salvo exceções que não permitiam realizar este protocolo. Estas eram consideradas aceitáveis pelo sistema do equipamento, quando os parâmetros ESD (do inglês, *estimated standard deviation*) e Q (do inglês, *shape factor*) apresentavam valores abaixo de 0.08 e acima de 1.00, respetivamente. Sempre que não se verificavam estas condições, os resultados eram eliminados do estudo. Cada medição do espalhamento da luz pelo C-Quant demorava uma média de 2 a 3



minutos por paciente. No final do teste, era pedido aos pacientes que respondessem a um questionário sobre a influência do espalhamento da luz no seu dia-a-dia.

#### 4.6.1 Especificações da medição do EIO pelo C-Quant

Para a realização deste teste, é necessário ter em consideração diversos aspetos, que podem influenciar a fiabilidade das medidas recolhidas com o C-Quant. A tabela 4.2, resume de forma simplificada, alguns destes principais aspetos a ter em conta durante a realização da medição do EIO. (117)

Tabela 4.2 - Especificações da medição do EIO pelo C-Quant. (117)

Condição Ocular	Sem dilatação e sem a compensação habitual. O teste é realizado monocularmente, logo o olho que não está a ser avaliado é ocluído.
Local da medição	Preferencialmente em condições mesópicas e com a cadeira e mesa ajustáveis ao conforto do paciente.
Correção refrativa	A medição é feita com a melhor correção dada pelo equivalente esférico, usando as lentes de provado equipamento. Cilindros >3D - Não realizam o teste devido a limitações do C-Quant; Desvios oculares bem corrigidos até 2D - toleram bem a medição.
Intervalo do teste (do inglês, <i>Range</i> )	Nível "E": nível mais usado por ser mais geral, abrangendo a maioria dos casos e das faixas etárias. Em casos de turbidez da córnea ou cataratas muito densas, é adaptado o intervalo do teste para níveis mais ou menos fáceis de perceber pelos pacientes.
Posição do paciente	O paciente deve posicionar o olho perto da ocular, mantendo uma distância mínima da mesma, como representado na figura 4.2. Uma posição do olho muito próxima ou muito afastada da ocular pode influenciar o resultado e a fiabilidade da medição.
Instruções para o paciente	Após toda a preparação anterior, é solicitado ao paciente que se concentre nos dois hemisférios presentes no círculo central do campo de teste e que ignore o piscar do anel periférico. De seguida, é necessário que o paciente compare as duas metades e decida qual delas pisca mais forte, carregando no botão do C-Quant que corresponde ao lado da resposta, ou seja, botão da esquerda se a metade esquerda for a mais forte ou botão da direita se por sua vez for a metade da direita a mais forte. A resposta dada pelo paciente deve ser a reação da sua primeira impressão, carregando mal os hemisférios comecem a piscar. Na maioria dos casos pode ser difícil distinguir a diferença entre os dois hemisférios, uma vez que estão ambos a piscar fortemente, sendo desta forma aconselhado o paciente também aqui a responder a sua primeira impressão perante o estímulo que observou.

O equivalente esférico (D) na correção refrativa, foi calculado com base na refração emitida pelo aberrômetro aquando da medição das AO para cada paciente, sendo obtido através da seguinte fórmula:

$$\text{Equivalente Esférico} = \text{Esfera} + \frac{\text{Cilindro}}{2} \quad (4.1)$$



Figura 4.2 - Representação da posição que deve ser adotada pelo paciente perante a ocular do C-Quant durante a medição do EIO. (117)

#### 4.6.2 Questionário de Encandeamento

Por forma a avaliar a qualidade de vida dos pacientes, nomeadamente a qualidade visual destes no seu dia-a-dia, após a medição do EIO foi efetuado um questionário de encandeamento (do inglês, Straylight Questionnaire), disponível nos Anexos. Este, realizado em alguns estudos, foi elaborado tendo em conta a prática clínica, de maneira a encontrar relação entre determinadas situações do quotidiano e possíveis sinais de encandeamento por parte dos pacientes. O questionário é composto por apenas 5 perguntas, respondidas numa escala de severidade de 0 a 5. (118) Para este estudo, foi realizada uma tradução e ligeira adaptação do questionário original. A cada questão foi atribuída uma pontuação específica mediante o grau de severidade, sendo o total da pontuação do questionário, determinado pela adição dos pontos de todas as questões, resultando numa pontuação total entre 0 e 100, onde 0 é considerado o pior resultado possível e 100, o melhor resultado possível. (118) Na tabela 4.3, encontram-se presentes a classificação atribuída a cada pergunta consoante o grau de severidade selecionado pelos pacientes.

Tabela 4.3 - Pontuação atribuída a cada grau de severidade das questões realizadas. (118)

Grau de Severidade	Pontuação Atribuída
0 - Nenhuma Dificuldade	20 pontos
1 - Praticamente Sem Dificuldade	16 pontos
2 - Pouca Dificuldade	12 pontos
3 - Dificuldade Moderada	8 pontos
4 - Dificuldade Extrema	4 pontos
5 - Não Consegue Ver	0 pontos

## 4.7 Medição da Acuidade Visual em Alto e Baixo Contraste

Todas as medidas de AV foram realizadas e obtidas com a compensação ótica do paciente caso esta existisse e em condições fotópicas. Mediu-se primeiramente a AV ao longe a uma distância de 6M através do Monitor de Optotipos CSO Vision Chart Mod. CVC03 da CSO, no seu contraste máximo, correspondente ao valor de 100%. Posteriormente, mediu-se a AV também à mesma distância, mas desta vez em baixo contraste, num valor de 12,5%. Tanto a AV em alto como em baixo contraste, foram medidas segundo a escala LogMar.

## 4.8 Análise de Dados

Os grupos de estudo e controlo serão comparados estatisticamente ao nível do espalhamento ocular, pelo parâmetro log S, e ao nível da aberrometria pelos parâmetros HORMS, aberrações de 3ª ordem (Coma horizontal e vertical e trifólio vertical e oblíquo) e 4ª ordem (AE). Adicionalmente será efetuada uma comparação da AV em baixo contraste. Tanto para o grupo de estudo como para o grupo de controlo foram analisados apenas os OD de cada paciente. Os coeficientes de aberração em estudo para cada paciente foram redimensionados para pupilas de 4,5 mm num programa de Matlab (The Mathworks Inc. versão R2015a) (119).

Para a análise estatística dos dados recorreu-se ao IBM SPSS Statistics versão 23. A normalidade dos dados foi testada segundo os testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Para a comparação de diferenças significativas entre os grupos, recorreu-se ao Teste T de Student de amostras independentes, em que foram consideradas estatisticamente significantes, as diferenças com  $p < 0,05$ . As correlações entre as variáveis foram determinadas pelo Coeficiente de Correlação de Pearson. A relação entre o valor do log (s) e as pontuações dos questionários foi avaliada mediante o Coeficiente de Correlação de Spearman e a comparação das pontuações entre os grupos foi obtida através do teste não paramétrico de Mann-Whitney. Para a análise do grupo com de pacientes diabéticos com valores de HbA1c, recorreu-se ao Teste T de Student de uma amostra, em que os resultados foram considerados estatisticamente significantes para  $p < 0,05$ . Também neste grupo, as correlações entre as variáveis foram obtidas pelo Coeficiente de Correlação de Pearson.

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo principal, a apresentação e consequente análise dos resultados obtidos ao longo da realização deste estudo. Deste modo, encontra-se dividido em secções e subsecções onde serão apresentados os resultados e respetiva discussão dos mesmos, relativos aos vários testes que foram efetuados, a fim de analisar os parâmetros de qualidade visual descritos nos capítulos anteriores. Inicialmente, é realizada uma análise comparativa de grupos para cada um dos parâmetros em estudo. Posteriormente, apresenta-se uma análise às respostas dadas pelos pacientes nos questionários de encandeamento e por fim, são apresentadas correlações entre as várias variáveis estudadas. Após esta análise, é realizada uma comparação dos resultados obtidos neste estudo, com a bibliografia existente sobre a temática.

### 5.2 Espalhamento Intraocular

#### 5.2.1 Parâmetro de Espalhamento

A normalidade dos dados do estudo foi testada segundo os testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Para rejeitar a hipótese de as distribuições serem consideradas normais, a significância destes testes tem de ser inferior a 0,05. Tendo em conta a dimensão das amostras, nomeadamente, 50 para o grupo de estudo e 30 para o grupo de controlo, deu-se mais importância à significância obtida com o teste de Shapiro-Wilk, uma vez que para amostras iguais ou inferiores a 50 é preferível usar este teste para avaliar a normalidade das mesmas. A tabela 5.1 apresenta os resultados da normalidade de ambos grupos relativamente aos dois testes utilizados, para o parâmetro de espalhamento.

Tabela 5.1 - Testes de normalidade para ambos os grupos relativamente ao parâmetro de espalhamento.

	Testes de Normalidade							
	Diabetes (n=50)				Controlo (n=30)			
	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.
Idade	0,137	0,020	0,958	0,074	0,070	0,200	0,970	0,550
Log (s) OD	0,078	0,200	0,972	0,272	0,146	0,105	0,934	0,064
Eq. Esférico	0,330	0,000	0,798	0,000	0,122	0,200	0,963	0,378
AV OD alto contraste	0,077	0,200	0,970	0,228	0,100	0,200	0,980	0,812
AV OD baixo contraste	0,116	0,090	0,964	0,133	0,098	0,200	0,973	0,611

Com base na tabela acima apresentada, pode-se observar que para ambos os grupos, todas as variáveis apresentadas seguem distribuição normal, à exceção do equivalente esférico no grupo com DM. Por forma a comparar ambos os grupos, e a perceber se existem ou não diferenças significativas entre eles, realizou-se o Teste T de Student de amostras independentes, com os erros testados para intervalos de confiança de 95%, para os dados em que se verificava a

normalidade das variáveis. Apresentam diferenças significativas entre si, os parâmetros em que se obteve um valor  $p < 0,05$ . Nos casos em que não se verificou a normalidade dos dados, ou seja, para o parâmetro do Equivalente Esférico, os grupos foram comparados entre si através do Teste de Mann-Whitney. Na tabela 5.2, encontram-se descritas as características principais que definem ambos os grupos analisados neste estudo relativamente ao EIO.

Tabela 5.2 - Características dos grupos em estudo para o parâmetro do EIO.

Parâmetro	Diabetes	Controlo	Valor P
Nº de participantes	50	30	
Nº olhos (OD)	50	30	
Idade (média±desvio padrão, intervalo de idades em anos)	59±7, 40-72	55±10, 38-83	0,052
Melhor AV Alto Contraste (LogMAR)	0,02±0,14	-0,08±0,13	0,002*
Melhor AV Baixo Contraste (LogMAR)	0,30±0,16	0,19±0,13	0,002*
Equivalente Esférico (D)	-0,72±1,07	0,18±1,12	0,003*
Espalhamento (log(s))	0,98±0,22	0,92±0,21	0,241

- Os valores assinalados com \* apresentam diferença significativa entre os grupos.

Relativamente aos parâmetros do EIO, existem diferenças significativas entre os grupos para parâmetros como as AV de alto e baixo contraste e equivalente esférico, sendo todos eles considerados muito significantes entre si. Por sua vez, tanto a idade como os valores do log(s) que permitem a avaliação do espalhamento, não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, embora seja possível perceber perante a análise realizada, que o grupo com DM apresenta maior valor de EIO quando comparado com o grupo de controlo. Contudo, embora a idade não apresente também significância estatística, apresenta um valor de destaque, o que leva a concluir que nas amostras analisadas, não só o fator doença merece realce, mas também o fator idade, visto que as populações do estudo são maioritariamente de uma faixa etária mais envelhecida, tendo desta forma bastante influência nas alterações visuais apresentadas.

A amostra do grupo de estudo foi constituída na sua totalidade por pacientes com DM do tipo 2, que ocorre normalmente após os 40 anos de idade. (49) Tendo em conta que a maioria dos pacientes analisados nos rastreios da RD é caracterizado por pertencer a uma população mais envelhecida, esse facto acarreta mais alterações a nível visual devido ao aumento da idade. É sabido que, com o aumento da idade, o EIO tem tendência a aumentar, ainda para mais se a ele estiver associado a presença de cataratas ou outra patologia. (3,19) Sabe-se também que pessoas com DM quer do tipo 1 ou do tipo 2, estão mais propensas ao desenvolvimento de cataratas precoces, sobretudo se tiverem um fraco controlo metabólico ou vários anos de

duração da doença. (70) Embora, mediante os critérios de exclusão deste estudo, apresentados no capítulo 4, tenham sido excluídos desta análise todos os pacientes com DM que possuíssem algum tipo mais evidente de catarata, não pode ser descartado o facto de estes apresentarem algum tipo de opacidades ligeiras na córnea ou no cristalino, o que leva a prováveis alterações tanto a nível refrativo como a nível do EIO. (80,81)

Segundo estudos realizados por Adnan *et. al.* (18), Morishige, Takahashi *et. al.* (92,93) e Weiss (94), em todos eles se verificou que em pacientes com DM tipo 1 ou DM tipo 2, eram encontrados maiores valores de log (s) quando estes eram comparados com pacientes sem esta patologia. Estes estudos apresentam amostras idênticas à que aqui foi analisada, embora nos estudos realizados por Morishige e Takahashi, tenham verificado que o valor do log (s) se encontrava relacionado com a gravidade da RD e não com a duração da DM, aspetos esses que não foram abordados neste trabalho. Através da análise realizada é possível perceber, mesmo que não seja estatisticamente significativo, que os valores do log(s) são maiores nos pacientes com DM quando comparados com os pacientes sem esta patologia, o que vai de encontro ao que era um dos objetivos principais deste estudo, mostrar que existem maiores valores de EIO numa população diabética, uma vez que os olhos de indivíduos com DM são versões precocemente envelhecidas de pessoas sem esta doença. (18) É de referir que possivelmente, uma amostra significativamente maior em ambos os grupos e com uma média de idades relativamente mais próxima, possivelmente representaria ainda com mais fiabilidade esta questão.

### 5.2.2 Questionários de Encandeamento

Tanto o grupo de estudo como o grupo de controlo, após a realização da medição do EIO, foram solicitados a responder a um questionário de encandeamento composto por cinco questões de resposta múltipla. Foram apenas analisadas as questões 3 e 5 do questionário, uma vez que estas abrangem tanto condutores como não condutores e relatam situações mais comuns do quotidiano. Responderam a estas questões a amostra total de cada grupo, sendo as respostas às mesmas, apresentadas de seguida em forma de gráfico nas figuras 5.1 a 5.4. A questão 3 tinha como intuito perceber “Qual o grau de dificuldade que sente em ver o que está à sua frente quando o sol está muito baixo no horizonte?”.

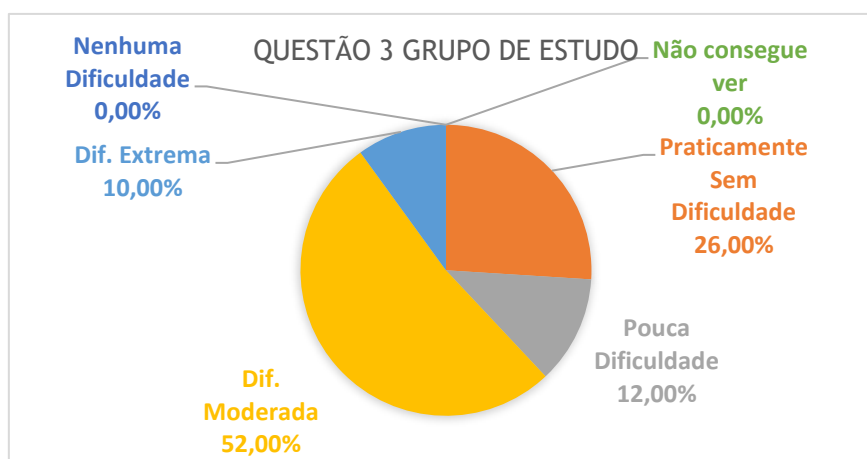


Figura 5.1 - Respostas da Questão 3 para o Grupo de Estudo.

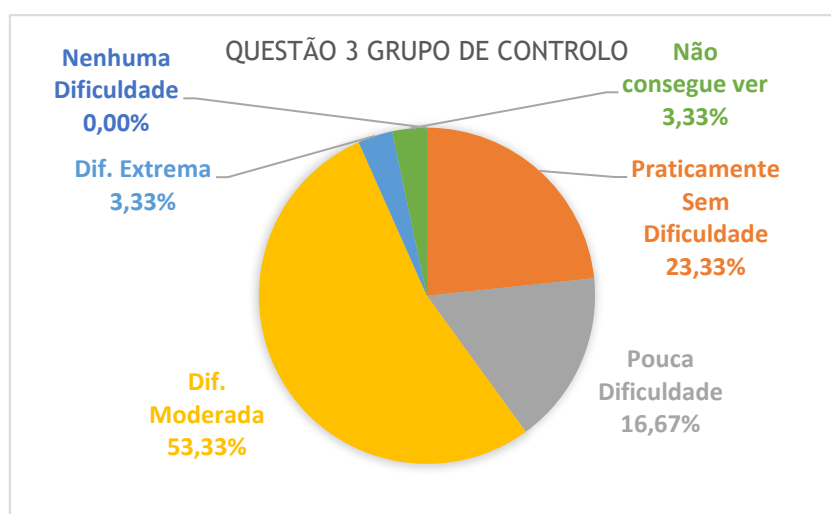


Figura 5.2 - Respostas da Questão 3 para o Grupo de Controlo.

Relativamente a esta questão, em ambos os grupos, metade da amostra em estudo revelou dificuldade moderada em observar o que está à sua frente quando o sol está muito baixo no horizonte, sendo os resultados de 52,00% (n=26) para o grupo de estudo e 53,33% (n=16) para o grupo de controlo. Quanto ao grupo de estudo, 26,00% (n=13) não revelam dificuldades, 12,00% (n=6) apresentam pouca dificuldade e 10,00% (n=5) mostram dificuldade extrema em lidar com esta situação. Por sua vez, no grupo de controlo, 23,33% (n=7) não apresentam dificuldades, 16,67% (n=5) revelam pouca dificuldade e 3,33% (n=1) indicam dificuldade extrema. Apenas 3,33% (n=1) dos pacientes, revelou deixar mesmo de ver nesta situação, tendo-se verificado este facto apenas neste grupo.

No que diz respeito à análise da quinta questão, as respostas a esta pretenderam dar informações sobre o seguinte aspeto: “Qual o grau de dificuldade que sente em reconhecer rostos em contraluz?”.

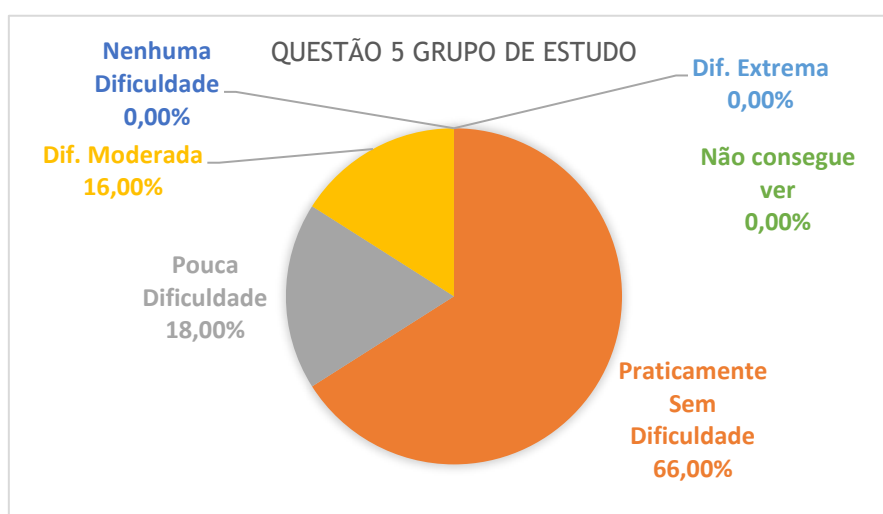


Figura 5.3 - Respostas da Questão 5 para o Grupo de Estudo.

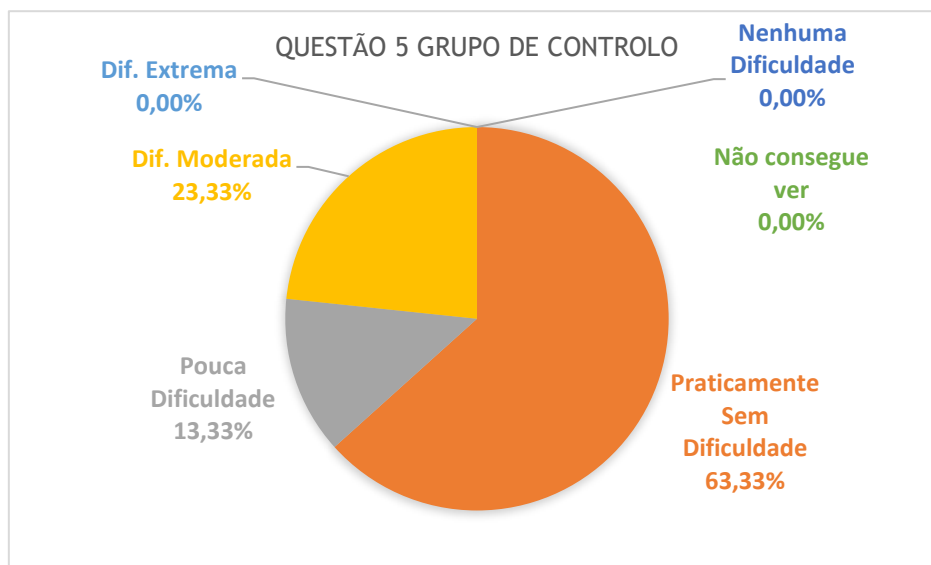


Figura 5.4 - Respostas da Questão 5 para o Grupo de Controle.

Novamente, em ambos os grupos, a maioria da amostra em estudo revelou que não sentia dificuldade em reconhecer rostos em contraluz, sendo os resultados de 66,00% (n=33) para o grupo de estudo e 63,33% (n=19) para o grupo de controle. Quanto ao grupo de estudo, 18,00% (n=9) revelam poucas dificuldades e 16,00% (n=8) apresentam dificuldade moderada. Por sua vez, no grupo de controle, 13,33% (n=4) apresentam poucas dificuldades e 23,33% (n=7) revelam dificuldade moderada. Em ambos os grupos, nenhum paciente indicou mostrar dificuldade extrema nesta situação. Relativamente à opção de “não consegue ver”, nenhum dos grupos mostrou pacientes que expressassem esta sensação.

No final de cada questionário, foi atribuída uma pontuação a cada uma das respostas mediante a opção selecionada pelos pacientes. Tendo em conta os pontos atribuídos a cada questão, pontos esses apresentados e explicados no capítulo 4, pode observar-se de seguida sob a forma de gráfico, a frequência das pontuações finais para ambos os grupos, representadas nas figuras 5.5 e 5.6.

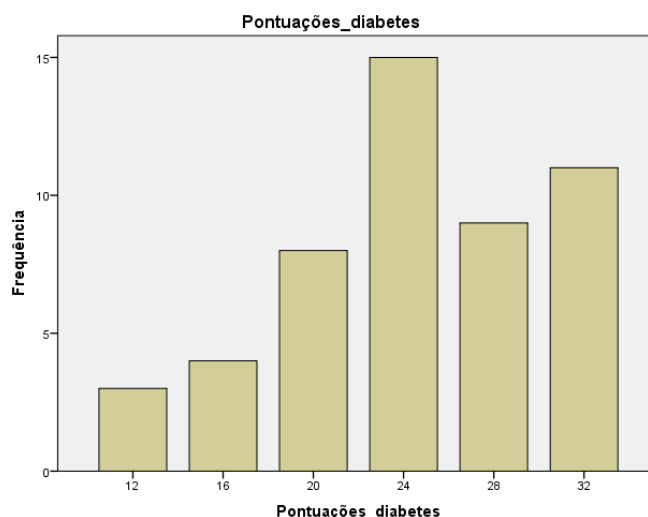




Figura 5.5 - Pontuações atribuídas ao Grupo de Estudo.

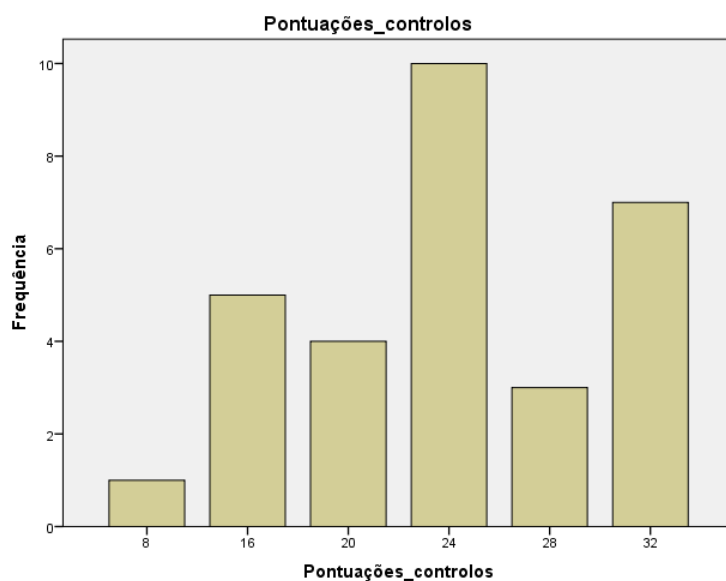


Figura 5.6 - Pontuações atribuídas ao Grupo de Controlo.

Na tabela 5.3, são apresentados os resultados médios das pontuações dos questionários para ambos os grupos.

Tabela 5.3 - Resultados médios das pontuações dos questionários.

Pontuações	Grupo de Estudo	Grupo de Controlo
Nº pacientes inquiridos	50	30
Média	24,48	23,87
Pontuação mais frequente	24	24

De maneira a efetuar uma comparação entre as pontuações obtidas em cada grupo e perceber se entre as mesmas existe diferenças estatisticamente significativas, realizaram-se testes de normalidade de forma a identificar a distribuição desta variável. A tabela 5.4 sumariza estes resultados.

Tabela 5.4 - Testes de Normalidade para ambos os grupos relativamente à pontuação dos questionários.

Testes de Normalidade Pontuações							
Diabetes (n=50)				Controlo (n=30)			
Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.
0,167	0,001	0,913	0,001	0,175	0,020	0,911	0,015

Uma vez que em ambos os grupos, esta variável apresenta distribuição não normal, a comparação foi feita segundo o teste de Mann-Whitney, obtendo uma significância de  $p = 0,676$ , ou seja, este parâmetro não é estatisticamente significativo. Ao realizar testes de correlação entre os parâmetros do log (s) e das pontuações para ambos os grupos, através do Coeficiente de Correlação de Spearman não paramétrico, verificou-se que estas variáveis não apresentam qualquer correlação entre si, tendo-se obtido valores como  $r_s = 0,154$ ,  $p = 0,173$  para o grupo de estudo e  $r_s = 0,143$ ,  $p = 0,164$  para o grupo de controlo.

Analizando todos estes resultados, e tendo em consideração que uma pontuação de 100 no questionário de encandeamento, corresponde ao melhor resultado possível, não é possível perceber com exatidão a influência do EIO no dia-a-dia dos pacientes, uma vez que foram analisadas apenas duas questões e a pontuação mais frequente, 24, está afastada da melhor pontuação possível de atribuir ao questionário. Quanto à relação estatística entre estes dois parâmetros, não se verifica qualquer tipo de correlação entre eles. É de referir que o questionário realizado neste estudo não se encontra validado em português, tendo sido apenas efetuado para ter uma ideia geral da qualidade visual dos pacientes quando influenciados por parâmetros como o EIO. No entanto, existe outro questionário validado de 30 itens em inglês, que permite uma melhor análise, mas devido à sua extensão e duração, não é aconselhado para ambientes de rastreio. (121) Em estudos futuros sobre a temática, e de modo a obter uma melhor análise comparativamente à que aqui foi realizada, pode ser útil a escolha de um questionário mais adaptado à amostra em estudo, que permita perceber melhor a influência destes parâmetros na qualidade de vida, e sobretudo visual, da população.

## 5.3 Aberrometria

### 5.3.1 Parâmetros de Aberrações

À semelhança do que foi explicado acima no parâmetro relativo ao espalhamento, também nesta análise a normalidade dos dados do estudo foi testada segundo os testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Também aqui foram aplicados os critérios de análise acima mencionados. A tabela 5.5 apresenta os resultados da normalidade de ambos grupos relativamente aos dois testes utilizados, para os parâmetros das aberrações.

Tabela 5.5 - Testes de Normalidade para ambos os grupos relativamente aos parâmetros de aberrometria.

	Testes de Normalidade							
	Diabetes (n=50)				Controlo (n=30)			
	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.
Trifólio Vertical	0,126	0,045	0,939	0,012	0,109	0,200	0,964	0,380
Coma Vertical	0,086	0,200	0,958	0,073	0,147	0,095	0,903	0,010
Coma Horizontal	0,097	0,200	0,980	0,567	0,103	0,200	0,964	0,391
Trifólio Oblíquo	0,069	0,200	0,99	0,944	0,121	0,200	0,968	0,486
Aberração Esférica	0,085	0,200	0,979	0,519	0,125	0,200	0,957	0,266
HORMS	0,112	0,156	0,914	0,001	0,143	0,120	0,836	0,000
Equivalente Esférico	0,330	0,000	0,798	0,000	0,122	0,200	0,963	0,378

Relativamente à análise dos dados obtidos após ser testada a normalidade dos vários parâmetros medidos em cada um dos grupos, verifica-se que no grupo de estudo, parâmetros como o Trifólio Vertical, o HORMS e o Equivalente Esférico, não apresentam distribuição normal segundo o teste Shapiro-Wilk, mais fiável para amostras como a deste estudo. Por sua vez no grupo de controlo, acontece a mesma situação para o HORMS e para o Equivalente Esférico, tendo sido acrescentado a estes parâmetros, o Coma Vertical. As restantes variáveis em ambos os grupos, apresentam-se normalmente distribuídas.

Novamente, por forma a realizar uma comparação entre ambos os grupos, e a perceber se existem ou não diferenças significativas entre os mesmos, procedeu-se à realização do Teste T de Student de amostras independentes, em que os erros foram testados para intervalos de confiança de 95%, para as variáveis em que os dados apresentavam normalidade. Deste modo, quando as variáveis não seguiam distribuição normal, foi utilizado o Teste de Mann-Whitney por forma a realizar uma análise comparativa entre os grupos. Apresentam diferenças significativas entre si, os parâmetros em que se obteve um valor  $p < 0,05$ . Na tabela 5.6, encontram-se descritas as características principais que definem ambos os grupos analisados neste estudo relativamente às AO.

Tabela 5.6 - Características dos grupos em estudo para os parâmetros das AO.

Parâmetro	Diabetes	Controlo	Valor P
Nº de participantes	50	30	
Nº olhos (OD)	50	30	
Idade (média±desvio padrão, intervalo de idades em anos)	59±7, 40-72	55±10, 38-83	0,052
Equivalente Esférico (D)	-0,72±1,07	0,18±1,12	0,064
Trifólio Vertical Total (µm)	-0,189±0,127	-0,082±0,142	0,009*
Coma Vertical Total (µm)	-0,024±0,182	-0,048±0,116	0,609
Coma Horizontal Total (µm)	-0,053±0,099	-0,024±0,067	0,180
Trifólio Oblíquo Total (µm)	0,014±0,131	0,057±0,097	0,122
AE (µm)	0,070±0,091	0,028±0,053	0,021*
HORMS (µm)	0,390±0,207	0,244±0,108	< 0,001*

- Os valores assinalados com \* apresentam diferença significativa entre os grupos.

Observando os parâmetros estudados nas AO, existem diferenças significativas entre os grupos para parâmetros como as AV de alto e baixo contraste, Trifólio Vertical Total, AE e HORMS, sendo todos eles considerados de valor muito significantes. Por sua vez, parâmetros como a idade, equivalente esférico, Coma Vertical e Horizontal Totais e Trifólio Oblíquo Total, não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Comparando todos os parâmetros no geral entre um grupo e outro, verifica-se que o grupo com DM apresenta valores mais elevados na maioria dos parâmetros.

Sabe-se que o desempenho visual do olho humano é afetado pelo envelhecimento, a partir dos 20 até aos 70 anos de idade, (20,35,36) Estas alterações no desempenho visual, devem-se a fenómenos como as AO que influenciam em muito a qualidade da imagem retiniana. Deste modo, tanto as aberrações como a qualidade ótica da imagem retiniana, são ainda mais afetadas se estiver presente uma patologia, neste caso a DM. (80) A imagem que se forma na retina, e consequentemente a sua qualidade, é determinada através da combinação de aberrações corneais, presentes na superfície anterior do olho, e aberrações internas, estando estas presentes na superfície corneal posterior e cristalino, levando a que a estrutura ótica do olho seja alterada. (98)

Na presença de DM, os pacientes estão sujeitos a um conjunto de alterações morfológicas, estruturais, metabólicas e fisiológicas nas diferentes estruturas oculares. (99,100) Na realidade, existem poucos estudos que apresentem uma relação entre as várias alterações relatadas e o impacto que as mesmas têm na qualidade visual destes indivíduos, mas sabe-se que estes têm tendência a sofrer maior variação nos níveis de glicose no sangue, podendo levar a alterações nos componentes refrativos tanto de forma aguda como a longo prazo. (99,100). Neste estudo,

verificou-se este pormenor uma vez que, o grupo com DM apresenta maiores valores refrativos quando comparados com o grupo de controlo, embora esta diferença não seja estatisticamente significativa. Embora as HOA tenham uma pequena contribuição de cerca de 10% na aberração total do olho, existem autores que têm mostrado um grande efeito de degradação na qualidade da imagem retiniana que, por sua vez, afetam a AV (25,101-105). Também nesta questão se verificou que para ambas as AV, o grupo de DM apresenta piores resultados relativamente aos controlos, visto que segundo a escala LogMAR, um valor mais alto corresponde a uma pior AV.

Comparando com estudos realizados sobre esta temática, e tendo em atenção que os olhos de pessoas com DM são normalmente mais envelhecidos que os de pacientes sem a mesma patologia, era de esperar que existisse um aumento das AO nos pacientes com DM. (18) Este facto verificou-se para parâmetros como as HOA em geral, indo de encontro ao que foi observado em estudos realizados por Adnan *et. al.* (18), Shahidi *et. al.* (99) e Wiemer *et. al.* (100), com amostras semelhantes a este trabalho. No entanto em Adnan (18), para a AE e o HORMS apenas se verificou um ligeiro aumento mas sem significância estatística, ao contrário do que acontece no estudo aqui realizado, onde a significância estatística foi bastante evidente. Note-se no entanto que, no estudo de Adnan apenas foram avaliados pacientes com DM tipo 1. Por sua vez, Calvo-Maroto *et. al.* (80,98), no estudo que realizou sobre AO em pacientes com DM, após realizar medições das AO totais, internas e corneais, verificou que o Coma Vertical total e interno, apresentou maiores valores em pacientes com DM. Tendo em conta que neste estudo, apenas foram analisados os resultados correspondentes às AO totais dos pacientes para ambos os grupos, verificou-se que aqui, o Coma Vertical no grupo com DM obteve menores valores em comparação aos controlos, embora não tendo significância estatística. Uma novidade neste estudo aqui realizado, foi a análise dos Trifólios Vertical e Oblíquo Totais, que na população geral apresenta valores entre os -0,200 e 0,000  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. (120) O Trifólio Vertical, apresentou um aumento apreciável na população com DM, sendo significativo entre os grupos. Contudo, não foram encontrados estudos em pacientes com DM que permitissem a comparação com o trabalho aqui realizado e os resultados obtidos, pelo que este aspeto merece uma análise mais profunda em estudos futuros que permitam descobrir as razões que levam a estas alterações.

O facto de se verificar um aumento significativo tanto na AE como no Trifólio Vertical, vem reforçar a ideia de envelhecimento precoce do olho na DM, uma vez que estas tendem a aumentar com a idade. (18) De notar, no entanto, que não conseguimos verificar esse aumento no Coma Vertical. Estes factos merecem uma análise mais profunda, uma vez que, o Trifólio Vertical assume valores bastante elevados em comparação às restantes aberrações de 3ª ordem. Isto faz com que o RMS de ordem 3 seja mais elevado, tal como acontece nos olhos mais envelhecidos. (9) À semelhança do estudo realizado por Adnan *et. al.* (18), também neste trabalho as AO foram analisadas para pupilas de 4.5 mm, uma vez que, tendo em conta que os

pacientes com DM têm tendência a ter pupilas menores quando comparados a pessoas sem a patologia, o tamanho pupilar utilizado pareceu ser adequado à análise de todos os parâmetros.

## 5.4 Espalhamento Intraocular vs. Aberrações Oculares

Com o intuito de analisar se existe relação entre as várias variáveis apresentadas anteriormente, realizou-se o teste do Coeficiente de Correlação de Pearson, que tem como objetivo avaliar possíveis correlações entre as mesmas. Esta análise foi realizada apenas ao grupo de estudo, constituído por 50 pacientes, em que se verificou que o parâmetro correspondente à idade está positivamente correlacionado e com significância estatística, com a AV de alto contraste ( $r = 0,46$ ,  $p = 0,001$ ), com a AV de baixo contraste ( $r = 0,49$ ,  $p = < 0,001$ ) e com os valores de log (s) ( $r = 0,53$ ,  $p = < 0,001$ ), o que indica que maiores valores de idade estão associados a aumentos em todos os parâmetros indicados. É de referir que nos casos das AV tanto de alto como baixo contraste, estas foram medidas em escala LogMAR, ou seja, segundo esta escala quanto mais positivo o valor da AV, pior o paciente vê. No caso dos valores do log(s,) é esperado que com o aumento da idade os pacientes apresentem mais queixas de encandeamento, o que vai de encontro ao aumento do EIO, tal como se pode verificar nestes resultados e que é apresentado na literatura. (18) Embora exista correlação entre estas variáveis, todas elas apresentam regressões não muito fortes. Nas figuras 5.7 a 5.9 são apresentados em forma de gráfico de dispersão, os resultados acima mencionados.

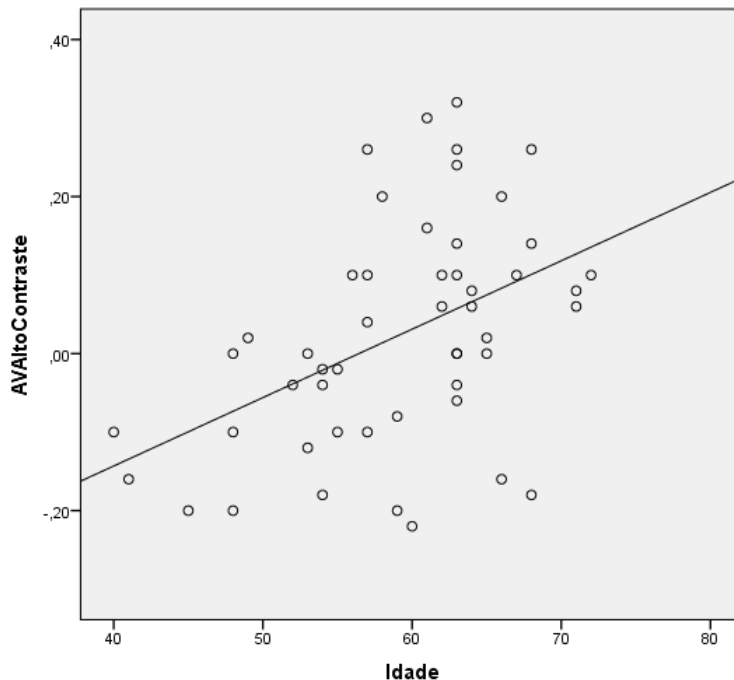


Figura 5.7 - Relação entre idade e AV de alto contraste. O ajuste linear foi  $y = 8,71 \times 10^{-3}x - 0,79$  com um  $R^2$  de 0,207.

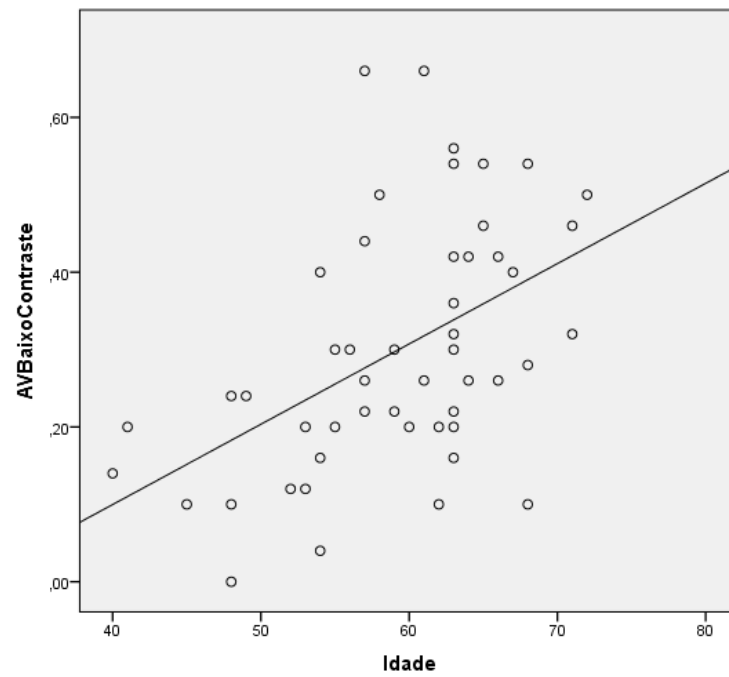


Figura 5.8 - Relação entre idade e AV de baixo contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,01x - 0,32$  com um  $R^2$  de 0,235.

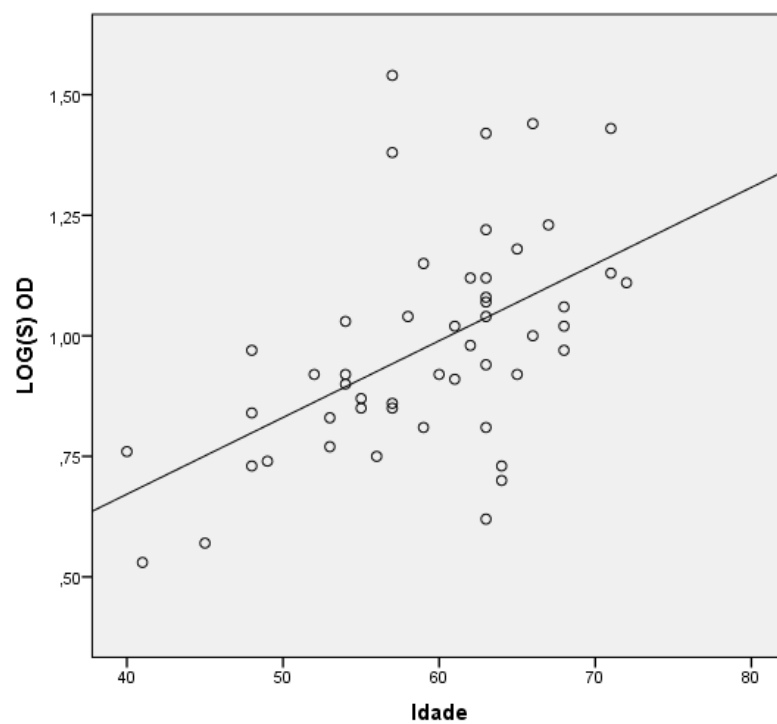


Figura 5.9 - Relação entre idade e log (s). O ajuste linear foi  $y = 0,02x + 0,04$  com um  $R^2$  de 0,281.

Relativamente à análise da relação do  $\log(s)$  com parâmetros como as AV's de alto e baixo contraste, também aqui se verificou que estes parâmetros estão positivamente correlacionados e estatisticamente significativos. A relação  $\log(s) \times$  AV alto contraste e  $\log(s) \times$  AV baixo contraste, apresenta valores como  $r = 0,43$  e  $p = 0,002$  e  $r = 0,45$  e  $p = 0,001$ , respetivamente. Novamente, nestas relações as regressões lineares foram fracas entre as variáveis. Nas figuras 5.10 e 5.11, podem ser observados estes resultados que indicam que à medida que os valores de  $\log(s)$  aumentam, aumentam também os valores das AV's, respetivamente. Pode concluir-se com base nestes resultados, que quanto maior o EIO, pior a AV dos pacientes e consequentemente, pior a qualidade visual dos mesmos.

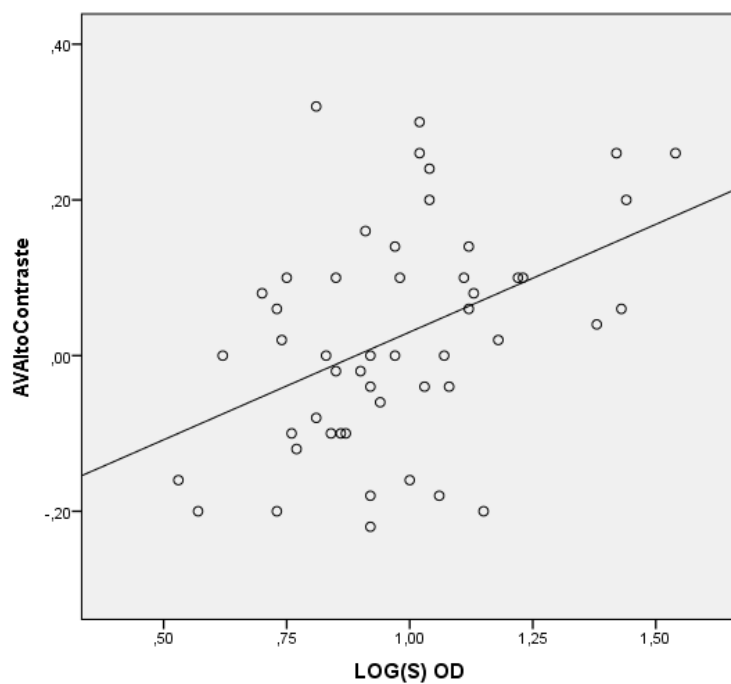


Figura 5.10 - Relação entre  $\log(s)$  e AV de alto contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,28x - 0,25$  com um  $R^2$  de 0,188.



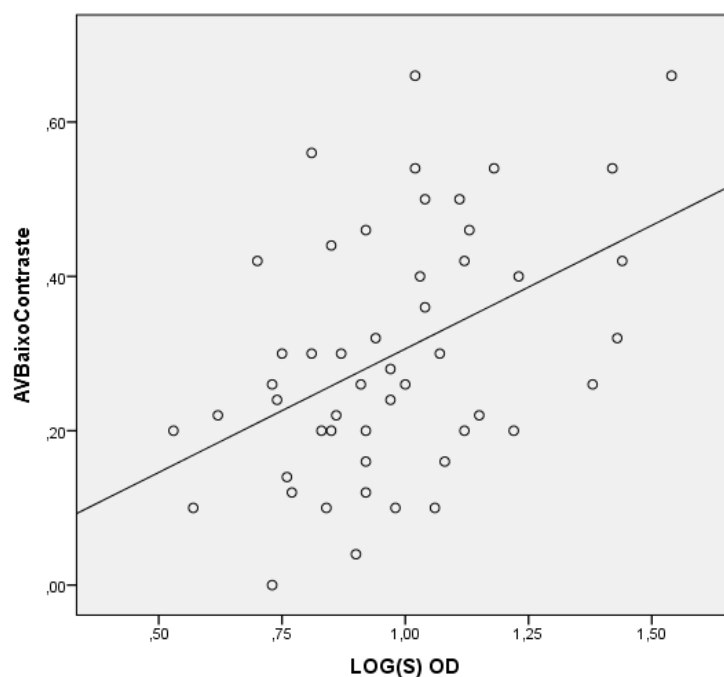


Figura 5.11 - Relação entre log (s) e AV de baixo contraste. O ajuste linear foi  $y = 0,32x - 0,01$  com um  $R^2$  de 0,202.

No que diz respeito à análise de correlações entre as AO e qualquer outra das variáveis em estudo, nenhum parâmetro das aberrações mostrou apresentar correlação com outra variável, daí não serem apresentados aqui resultados relativamente a esta questão. No entanto, também não foram encontrados estudos que correlacionassem estas variáveis em pacientes com DM, pelo que não pode ser apresentada aqui uma comparação com outros achados estatísticos.

Por fim, realizou-se ainda uma análise estatística a 38 pacientes do grupo inicial de 50 com DM. Esta análise, deveu-se ao facto destes pacientes apresentarem valores de HbA1c. Durante os rastreios de RD, era solicitado aos pacientes que levassem consigo o resultado de análises clínicas ao sangue que realizavam preferencialmente nos últimos seis meses. Foi testada a normalidade deste grupo mediante os testes acima referidos, em que as distribuições foram consideradas normais, quando a significância destes testes foi superior a 0,05, podendo os resultados dos mesmos serem observados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Testes de Normalidade para o grupo de DM com HbA1c (n=38).

	Testes de Normalidade			
	Grupo DM com HbA1c% (n=38)			
	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Estatística	Sig.	Estatística	Sig.
Idade	0,122	0,162	0,949	0,084
Log (s) OD	0,093	0,200	0,966	0,305
HbA1c%	0,304	0,000	0,706	0,000
Trifólio Vertical	0,142	0,051	0,935	0,030
Coma Vertical	0,131	0,097	0,944	0,057
Coma Horizontal	0,103	0,200	0,969	0,375
Trifólio Oblíquo	0,093	0,200	0,980	0,712
Aberração Esférica	0,101	0,200	0,964	0,262
HORMS	0,130	0,102	0,914	0,006
Equivalente Esférico	0,299	0,000	0,844	0,000
AV OD alto contraste	0,131	0,100	0,969	0,366
AV OD baixo contraste	0,128	0,117	0,956	0,145

Relativamente à análise dos dados obtidos após ser testada a normalidade dos vários parâmetros medidos neste grupo, verifica-se que parâmetros como a HbA1c, o Trifólio Vertical, o HORMS e o Equivalente Esférico, não apresentam distribuição normal segundo o teste Shapiro-Wilk, mais fiável para amostras como a deste grupo. As restantes variáveis apresentam-se normalmente distribuídas. Com o intuito de perceber possíveis relações entre as variáveis apresentadas e analisadas na tabela acima, realizaram-se testes de correlação entre as mesmas. Tendo em conta que o principal parâmetro de destaque neste grupo era o valor da HbA1c e perceber possíveis relações entre este e parâmetros como o EIO ou alguma das AO mais comuns, recorreu-se ao teste do Coeficiente de Correlação de Spearman não-paramétrico, uma vez que as variáveis em estudo não apresentavam todas distribuição normal. Na tabela 5.8, são apresentados os resultados das correlações efetuadas entre algumas das variáveis em estudo.

Tabela 5.8 - Correlações entre HbA1c e parâmetros como o EIO e algumas das AO.

Correlações			LOG(S) OD	HbA1c	Trifólio	Aberração Esférica	HORMS
rô de Spearman	LOG(S) OD	Coeficiente de Correlação	1,000	-,001	-,400*	-,146	,303
		Sig. (bilateral)	.	,997	,013	,381	,065
		N	38	38	38	38	38
	HbA1c	Coeficiente de Correlação	-,001	1,000	,065	-,389*	-,102
		Sig. (bilateral)	,997	.	,698	,116	,543
		N	38	38	38	38	38
	Trifólio	Coeficiente de Correlação	-,400*	,065	1,000	-,026	-,719**
		Sig. (bilateral)	,013	,698	.	,876	,000
		N	38	38	38	38	38
	Aberração Esférica	Coeficiente de Correlação	-,146	-,389*	-,026	1,000	,258
		Sig. (bilateral)	,381	,116	,876	.	,118
		N	38	38	38	38	38
	HORMS	Coeficiente de Correlação	,303	-,102	-,719**	,258	1,000
		Sig. (bilateral)	,065	,543	,000	,118	.
		N	38	38	38	38	38

Analisando os resultados estatísticos para este grupo, constata-se que para as variáveis em estudo neste grupo, não é apresentado qualquer tipo de relação entre as mesmas. O principal parâmetro de destaque na análise a este grupo era a HbA1c, e perceber até que ponto esta apresentava algum tipo de relação, sobretudo com o EIO ou com alguma das principais AO. Tanto para um caso como para o outro, este facto não se verificou.

Conforme o que se encontra relatado na literatura sobre esta questão, existem estudos que afirmam que talvez exista uma relação entre o EIO e o valor da HbA1c, uma vez que um fraco controlo glicémico (> 7%) pode levar a um aumento do valor do log(s). (90) No entanto, Morishige, Takahashi *et. al.*, nos estudos que realizaram com pacientes com DM tipo 2, verificaram que o valor do log(s) estava relacionado com a gravidade da RD e não com parâmetros como a HbA1c, embora este estudo esteja mais direccionado para o estudo do espalhamento ao nível da córnea e não na retina. (92,93). O estudo de Adnan (18) apenas utiliza este parâmetro para classificação da amostra, não apresentando nenhuma relação entre a

HbA1c com qualquer outro parâmetro. Os resultados obtidos neste trabalho vão de encontro aos acima mencionados sobre Morishige e Takahashi, uma vez que não foi encontrada qualquer correlação entre estes dois parâmetros. No que diz respeito, à relação entre HbA1c e AO, não foram encontrados estudos que mostrem se estes parâmetros podem ou não estar interligados.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este estudo tinha como objetivo principal, a avaliação da influência da Diabetes na qualidade de imagem retiana através de medições de EIO e aberrometria. Tendo sido realizado pela primeira vez em Portugal, a motivação para encontrar resultados que permitissem a comprovação deste objetivo era acrescida. Sendo a Diabetes uma patologia que acarreta várias alterações na qualidade de vida da população, nomeadamente a nível visual, verificou-se através dos dados recolhidos ao longo deste trabalho, quais foram essas alterações e de que modo afetam os pacientes.

Relativamente à análise do parâmetro de espalhamento, a comparação entre os grupos permitiu verificar que na presença de DM, existe um aumento dos valores do log(s) relativamente aos resultados encontrados para o grupo de controlo neste parâmetro, embora não tenha sido encontrada diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Ainda em relação às outras características que definiam ambos os grupos, na maioria dos aspetos analisados, o grupo com DM apresentou valores mais elevados, nomeadamente, piores AV e equivalente esférico. Contudo, embora a idade não apresente também significância estatística, apresenta um valor de destaque, o que leva a concluir que nas amostras analisadas, não só o fator doença merece realce, mas também o fator idade, visto que as populações do estudo são maioritariamente de uma faixa etária mais envelhecida, tendo desta forma bastante influência nas alterações visuais apresentadas.

Os parâmetros estudados referentes às AO, mostraram diferenças significativas entre os grupos para parâmetros como as AV de alto e baixo contraste, Trifólio Vertical Total, AE e HORMS, sendo todos eles considerados de valor muito significativo. Comparando todos os parâmetros no geral entre um grupo e outro, verifica-se que o grupo com DM apresenta valores mais elevados na maioria dos parâmetros. Também nestes parâmetros, embora a idade não apresente significância, deve ser tida em conta juntamente com o fator doença, uma vez que a população ao ser maioritariamente envelhecida, apresenta à partida um maior aumento nas aberrações.

Quando correlacionadas as várias variáveis do grupo com DM, apenas se obteve correlação positiva entre o parâmetro da idade com ambas as AV e os valores do log(s). O parâmetro do log (s) também apresentou correlação positiva com a AV de alto e de baixo contraste. No entanto, as regressões lineares obtidas não foram muito fortes entre as variáveis. No que diz respeito à análise de correlações entre as AO e qualquer outra das variáveis em estudo, nenhum parâmetro das aberrações mostrou apresentar correlação com outra variável.

O grupo de 38 pacientes com valores de HbA1c, não apresentou relações estatísticas entre si, quando comparado o parâmetro da HbA1c com parâmetros como o EIO e algumas das principais aberrações do olho. O principal parâmetro de destaque na análise a este grupo era a HbA1c, e

perceber até que ponto esta apresentava algum tipo de relação, sobretudo com o EIO ou alguma das AO. Após essa análise, tanto para o caso do EIO como para as AO, este facto não se verificou.

Deste modo, e resumindo de uma forma geral todos os resultados deste estudo, o objetivo principal ficou cumprido, uma vez que se mostrou que pacientes com DM apresentam indícios de maiores valores de EIO e de AO quando comparados com indivíduos sem esta patologia, levando a que apresentem também diversas alterações visuais. Embora se suspeitasse que pudesse existir associação entre algumas AO e o EIO, tal ideia não ficou provada neste estudo.

Contudo, este estudo apresentou algumas limitações, nomeadamente, a dimensão da amostra e o intervalo de idades. O facto de existir uma diferença de 20 pessoas entre os grupos e de o intervalo de idades, sobretudo no grupo de controlo ser mais baixo que no grupo com DM, levou a que a caracterização das amostras em ambos os testes apresentasse possíveis diferenças na análise estatística, que de outra forma poderiam ser melhoradas. Uma das maiores dificuldades da realização deste estudo, foi a recolha de dados relativa ao grupo de controlo, visto que, a população frequente nos rastreios da RD é maioritariamente envelhecida, e não foi possível recrutar pacientes para o grupo de controlo que apresentassem exatamente a mesma média de idades.

Como tal, uma sugestão de trabalho futuro sobre este tema, passa por adquirir uma amostra de maior dimensão, tanto de pacientes com DM como de pacientes sem esta patologia, com um intervalo de idades relativamente semelhantes entre si, de modo a obter resultados mais fiáveis, no que diz respeito à análise de destes parâmetros de qualidade visual influenciados por uma patologia como a DM. Outra sugestão, é a análise mais profunda do estudo do Trifólio Vertical em trabalhos futuros, para permitir que se descubram algumas razões que levam a alterações visuais.

## Bibliografia

1. Tortora, G., Grabowski, S. Introduction to the Human Body - The Essentials of Anatomy and Physiology, 5th Edition. John Wiley & Sons, INC, pp. 282-286; 2001.
2. Dr.Visão. Conheça o olho [Online]; 2006. [http://www.drvisao.com.br/conheca\\_olho.php](http://www.drvisao.com.br/conheca_olho.php).
3. van den Berg, T.J.T.P., Franssen, L., Kruijt, B., Coopens, J.E. History of ocular straylight measurement: A review. *Zeit. Med. Physik* 23(1), 6-20 2013.
4. Goodman, J.W. Introduction to Fourier optics, McGraw-Hill, New York, 1968.
5. Brouwere D D. Corneal Light Scattering following Excimer Laser Surgery [master's thesis]. [Crete]: University of Crete, 2008. 171 p.
6. Matsushima E.H., Ribeiro Filho N.P., Silva J.A. Limites da percepção visual humana. In: Alves MR, Chamon W, Nosé W, organizadores. *Cirurgia Refrativa*. Rio de Janeiro: Cultura Médica; 2003. P.87-94.
7. Thibos, LN., Applegate, RA. Assessment of optical quality. In: MacRae SM, Krueger RR, Applegate RA, editors. *Customized corneal ablation*. New Jersey: Slack; 2001. p. 67-79.
8. Dai, G. Wavefront optics for vision correction. Ed. SPIE, 2008.
9. Twa, M. Wavefront Customized Vision Correction: A Quest for Super Vision II. Ed SLACK Incorporated, 2005.
10. Universidade da Beira Interior. Plataforma Moodle, Superfície Ocular e Lentes de Contato, Tecnologia de Frente de Onda em Visão [Web page]. Covilhã.
11. Thibos, LN., Bradley, A., Still, DL., Rhang, XX., Howarth, PA. Theory and measurement of ocular chromatic aberration. *Vision Res.* 1990; 30: 33-49.
12. Jankov, M., Mrochen, M., Schor, P., Chamon, W., Seiler, T. Frentes de Onda e Limites da Visão Humana, Parte 1 - Fundamentos. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, Vol. 65, No 6; Nov./Dec. 2002.
13. Batista, IRP. Aberrações Oculares Associadas ao Uso de Lentes de Contacto Hidrofílicas Mensais, Estudo Clínico [Dissertação]. [Lisboa]: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007. 119 p.
14. Rozema, J J., Van Dyck, D E M., Tassignon, M. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: Technical specifications. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31: 1114-1127.
15. Jankow, M., Shor, P., Chamon, W. Analisadores de frente de onda. In: Alves MR, Chamon W, Nosé W, organizadores. *Cirurgia Refrativa*. Rio de Janeiro: Cultura Médica; 2003. p. 183-91.
16. Liang, L., Grimm, B., Goelz, S., Bille, JF. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wavefront sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1994; 11(7): 1949-57.
17. MacRae, S., Fujieda, M. Slit skiascopic-guided ablation using the Nidek laser. *J Refract Surg* 2000; 16: S576-S580.

18. Adnan, S M., Mathur, A., Efron, N., Atchison, D A. Straylight, lens yellowing and aberrations of eyes in Type 1 diabetes. *Biomed Opt Express* 2015; 6: 1282-1292.
19. Universidade da Beira Interior. Plataforma Moodle, Ótica Visual, Aulas TE4 [Web page]. Covilhã.
20. Rabbetts, R B. *Clinical Visual Optics*. 4 ed. Philadelphia: Elsevier; 2007.
21. Hodgkinson, I J., Greer, P B., Molteno, A C. Point-spread function for light scattered in the human ocular fundus. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 11 (1994), 479-486.
22. van den Berg, T J., Franssen, L., Coppens, J E. Ocular media clarity and straylight. In: Dartt DA (ed.). *Encyclopedia of the eye*. Oxford: Academic Press, Elsevier; 2010: 173-183.
23. Santamaría, J., Artal, P., Bescós, J. Determination of the point-spread function of human eyes using a hibrid optical-digital method. *J Opt Soc Am A*. 1987; 4: 1109-1114.
24. Artal, P. Calculations of two-dimensional foveal retinal images in real eyes. *J Opt Soc Am A*. 1990; 7: 1374-1381.
25. Artal, P., Ferro, M., Miranda, I., Navarro, R. Effects of aging in retinal image quality. *J Opt Soc Am A*. 1993; 10: 1656-1662.
26. Guirao, A., González, C., Redondo, M., Geraghty, E., Norrby, S. et al. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1999; 40: 203-213.
27. Artal, P., Marcos, S., Navarro, R., Miranda, I., Ferro, M. Through focus image quality of eyes implanted with monofocal and multifocal intraocular lenses. *Opt Eng*. 1995; 34: 772-779.
28. Alcon, E., Benito, A., Rerez, G M., De Casas, A., Abenza, S. et al. Quantifying intraocular scattering in cataract patients. *ARVO Meeting Abstracts*. 2007; 48: 3821.
29. Benito, A., Alcon, E., Perez, G M., Abenza, S., De Casas, A. et al. An objective classification scheme for cataracts. *ARVO Meeting Abstracts*. 2007; 48: 3822.
30. Artal, P., Benito, A., Perez, G M., Abenza, S., De Casas, A., Pujol, J., Marin, J M. An Objective Scatter Index Based on Double-Pass Retinal Images of a Point Source to Classify Cataracts. *PLoS ONE*. 2011. Volume 6; Issue 2; e16823.
31. Universidade da Beira Interior. Plataforma Moodle, Ótica Visual, Método C-Quant [Web page]. Covilhã.
32. Oculus C-Quant straylight measurement. Quick guide.
33. van den Berg, T J., Franssen, L., Coopens, J E. Straylight in the human eye: testing objectivity and optical character of the psychophysical measurement. *The College of Optometrists*. 2009. OPO doi:10.1111.
34. Brouwere, D D., Ginis, H S., Kumionis, G D., Naomidi, I., Pallikaris, I G. Foward scattering properties of corneal haze. *Optom Vis Sci*. 2008, OVS 85 (9): 843-8.
35. Weale, R A. *The Senescence of Human Vision*. Oxford, UK: Oxford University Press; 1992.



36. Guirao, A., Gonzalez, C., Redondo, M., et al. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999; 40: 203-213
37. Comerford, J P. Vision evaluation using contrast sensitivity functions. *Am J Optom Physiol Opt.* 1983; 60(5), 394-398
38. Ginsburg, A P. A new contrast sensitivity vision test chart. *Am J Optom Physiol Opt.* 1984; 61(6), 403-407.
39. Elliott, D B., Hurst, M A., Weatherill, J. Comparing clinical tests of visual function in cataract with the patient's perceived visual disability. *Eye (Lond.)* 1990; 4 (5), 712-717.
40. Sabour-Pickett, S., Loughman, J., Nolan, J M., Stack, J., Pesudovs, K., Meagher, K A., Beatty, S. Visual performance in patients with neovascular age-related macular degeneration undergoing treatment with intravitreal ranibizumab. *J Ophthalmol.* 2013, 268438.
41. Ross, J E., Bron, J A., Clarke, D D. Contrast sensitivity and visual disability in chronic simple glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 1984. 68(11), 821-827.
42. Howes, S C., Caelli, T., Mitchell, P. Contrast sensitivity in diabetics with retinopathy and cataract. *Aust J Ophthalmol.* 1982. 10(3), 173-178.
43. Schwartz, S H. *Visual Perception, A Clinical Orientation.* 4 ed. New York: Medical; 2009.
44. Arden, G B. Doyne Memorial Lecture, 1978. Visual loss in patients with normal visual acuity. *Trans Ophthalmol Soc UK.* 1978. 219-231.
45. Hess, R., Woo, G. Vision through cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1978. 17(5), 428-435.
46. Gruber, W., Lander, T., Leese, B., Songer, T., Williams, R. The economics of diabetes and diabetes care. A report of the diabetes health economics study group Bruxelles (BEL): International Diabetes Federation World Health Organization; 1997.
47. Malerbi, D A., Franco, L J. Multicenter study of the prevalence of diabetes mellitus and impaired glucose tolerance in the urban brasilian population: age 30-69. *Diabetes Care* 1992; 15(11): 1509-16.
48. International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*, 7th ed. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation, 2015.
49. Sociedade Portuguesa de Diabetologia. *Diabetes: Factos e Números - O Ano de 2015 - Relatório Anual do Observatório Nacional da Diabetes.* 12/2016 [citado em 2017Jun13]. Disponível em: <http://sdp.pt/images/OND/DFN2015.pdf>
50. American Diabetes Association. *Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus.* *Diabetes Care*, volume 33, Supplement 1, January 2010.
51. Klein, R., Klein B E K., Moss, S E., Cruickhanks, K J. The Wisconsin epidemiologic study of diabetic retinopathy (WESDR). XVII. The 14-year incidence and progression of diabetic retinopathy and associated risk factors in type 1 diabetes [commented on *Ophthalmology* 1998; 105: 1799-80]. *Ophthalmology* 1998; 105: 1801-15.

52. Dyck, P J., Kratz, K M., Karnes, J R., Litchy, W J., Klein, R., Pach, J M. et al. The prevalence by staged severity of various types of diabetic neuropathy, retinopathy, and nephropathy in a population-based cohort: The Rochester diabetic neuropathy study [published erratum in *Neurology* 1993; 43: 2345]. *Neurology* 1993; 43: 817-24.
53. KChen, M., Kao, C., Chang, C., Wu, T., FuC, Chen, C., et al. Prevalence and risk factos of diabetic retinopathy among noninsulin-dependent diabetic subjects. *Am J Ophthalmol* 1992; 114: 723-30.
54. Sparrow, J M., McLeod, B K., Smith, T D W., Birk, M K., Rosenthal, A R. The prevalence of diabetic retinopathy and maculopathy and their risk factos in the noninsulin-treated diabetic patients of an English town. *Eye* 1993; 7(Pt 1): 158-63.
55. International Council of Ophthalmology. ICO Guidelines for Diabetic Eye Care, Updated 2017. January.
56. Khan, A., Petropoulos, I N., Ponirakis, G., Malik, R A. Visual complications in diabetes mellitus: beyond retinopathy. *Diabetic Medicine, Diabetes UK*. 2016; DOI: 10.1111.
57. Nielsen, N V. The prevalence of glaucoma and ocular hypertension in type 1 and 2 diabetes mellitus. *Acta Ophthalmol*. 1983; 61: 662-672.
58. Mitchell, P., Smith, W., Chey, T., Healey, P R. Open-angle Glaucoma and Diabetes: The Blue Mountains Eye Study, Australia. *Ophthalmology* 1997; 104: 712-718.
59. Chopra, V., Varma, R., Francis, B A., Wu, J., Torres, M., Azen, S P. et al. Type 2 diabetes mellitus and the risk of open-angle glaucoma: the Los Angeles Latino Eye Study. *Ophthalmology* 2008; 115: 227-232.e221.
60. Newman-Casey, P A., Talwar, N., Nan, B., Musch, D C., Stein, J D. The relationship between componentes of metabolic syndrome and open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 2011; 118: 1318-1326.
61. Kahn, H A., Leibowitz, H M., Ganley, J P., Kini, M M., Colton, T., Nickerson, R S. et al. The Framingham Eye Study II. Association of ophthalmic pathology with single variables previously measured in the Framingham Heart Study. *Am J Epidemiol* 1977; 106: 33-41.
62. Tielsch, J M., Katz, J., Quigley, H A., Javitt, J C., Sommer, A. Diabetes, intraocular pressure, and primary open-angle glaucoma in the Baltimore Eye Survey. *Ophthalmology* 1995; 102: 48-53.
63. de Voogd, S., Ikram, M K., Wolfs, R C W., Jansonius, N M., Witteman, J C M., Hofman, A. et al. Is diabetes mellitus a risk factor for open-angle glaucoma?: The Rotterdam Study. *Ophthalmology* 2006; 113: 1827-1831.
64. Leske, M C., Wu, S-Y., Hennis, A., Honkanen, R., Nemesure, B. Risk Factors for Incident Open-Angle Glaucoma: The Barbados Eye Studies. *Ophthalmology* 2008; 115: 85-93.
65. Tan, G S., Wong, T Y., Fong, C-W, Aung, T. Diabetes, metabolic abnormalities, and glaucoma: The Singapore Malay Eye Study. *Arch Ophthalmol* 2009; 127: 1354-1361.
66. Shazly, T A., Latina, M A. Neovascular glaucoma: etiology, diagnosis and prognosis. In: *Semin Ophthalmol* 2009; 24: 113-121.

67. Chen, X., Rong, S S., Xu, Q., Tang, F Y., Liu, Y., Gu, H. et al. Diabetes mellitus and risk of age-related macular degeneration: A systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One* 2014; 9: e108196.
68. Poh, S., Mohamed Abdul, R B B., Lamoureux, E L., Wong, T Y., Sabanayagam, C. Metabolic syndrome and eye diseases. *Diabetes Res Clin Pract* 2016; 113: 86-100.
69. Li, L., Wan, X-h., Zhao, G-h. Meta-analysis of the risk of cataract in type 2 diabetes. *BCM Ophthalmol* 2014; 14: 1-8.
70. Negahban, K., Chern, K. Cataracts associated with systemic disorders and syndromes. *Curr Opin Ophthalmol* 2002; 13: 419-422.
71. Falck, A., Laatikainen, L. Diabetic cataract in children. *Acta Ophthalmol Scand* 1998; 76: 238-240.
72. Chu, C J., Johnston, R L., Buscombe, C., Sallam, A B., Mohamed, Q., Yang, Y C. Risk factors and incidence of macular edema after cataract surgery: A Database Study of 81984 eyes. *Ophthalmology* 2016; 123: 316-323.
73. Goebbels, M. Tear secretion and tear film function in insulin dependente diabetics. *Br J Ophthalmol* 2000; 84: 19-21.
74. Dogru, M., Katakami, C., Inoue, M. Tear function and ocular surface changes in noninsulin-dependent diabetes mellitus. *Ophthalmology* 2001; 108: 586-592.
75. Figueroa-Ortiz, L C., Jimenez Rodriguez, E., García-Bem, A., García-Campos, J. Study of tear function and conjunctival surface in diabetic patients. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2011; 86: 107-112.
76. Cousen, P., Cackett, P., Bennett, H., Swa, K., Dhillon, B. Tear production and corneal sensitivity in diabetes. *J Diabetes Complications* 2007; 21: 371-373.
77. Sánchez-Thorin, J C. The córnea in diabetes mellitus. *Int Ophthalmol Clin* 1998; 38: 19-36.
78. Herse, P R. A review of manifestations of diabetes mellitus in the anterior eye and córnea. *Am J Optom Physiol Opt* 1988; 65: 224-230.
79. Quadrado, M J., Popper, M., Morgado, A M., Murta, J N., Van Best, J A. Diabetes and corneal cell densities in humans by in vivo confocal microscopy. *Cornea* 2006; 25: 761-768.
80. Calvo-Maroto, A M., Perez-Cambrodi, R J., Albarán-Diego, C., Pons, A., Cerviño, A. Optical quality of the diabetic eye: a review. *Eye* (2014) 28, 1271-1280; doi: 10.1038/eye.2014.176; published online 15 August 2014.
81. Negi, A., Vernon, SA. An overview of the eye in diabetes. *J R Soc Med.* 2003; 96: 266-72.
82. Stitt, A W., Moore, J E., Sharkey, J A., Murphy, G., Simpson, D A., Bucala, R. et al. Advanced glycation end products in vitreous: structural and functional implications for diabetic vitreopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998; 39: 2517-2523.
83. Akram, A., Niazi, M K., Ishaq, M., Azad, N. Frequency of diabetics in asteroid hyalosis patients. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 2003; 15: 10-11.

84. Moss, S E., Klein, R., Klein, B E. Asteroid hyalosis in a population: the Beaver Dam eye Study. *Am J Ophthalmol* 2001; 132: 70-75.
85. Lundquist, O., Osterlin, S. Glucose concentration in the vitreous of nondiabetic and diabetic human eyes [Abstract]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1994; 232: 71-74.
86. Adnan, Efron, N., Mathur, A., Edwards, K., Pritchard, N., Suheimat, M. et al. Amplitude of acomodation in type 1 diabetes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55: 7014-7018.
87. Hellgren, K-J., Agardh, E., Bengtsson, B. Progression of early retinal dysfunction in diabetes over time: Results of a long-term prospective clinical study. *Diabetes* 2014; 63: 3104-3111.
88. Ferreira, A P S. Estudo comparativo através de OCT da Retinopatia Diabética. Tese de Mestrado em Medicina. Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior. 2013. Covilhã. 114 pp.
89. Liang, J., Williams, D R. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 14: 2873-2883.
90. Adnan, Atchison, D A. Changes in straylight and corneal light scattering in a newly diagnosed case of type 2 diabetes. *Clin Exp Optom* 2015; 98: 481-482.
91. van den Berg, T J. On the relation between glare and straylight. *Documenta Ophthalmologica* 1991; 78: 177-181.
92. Morishige, N., Chimaka, T I., Sassa, Y., Nishida, T. Abnormal light scattering detected by confocal biomicroscopy at the corneal epithelial basement membrane of subjects with type II diabetes. *Diabetologia* 2001; 44: 340-345.
93. Takahashi, N., Wakuta, M., Morishige, N., Chikama, T., Nishida, T., Sumii, Y. Developement of an instrument for measurement of light scattering at the corneal epithelial basement membrane in diabetic patients. *Jnp J Ophthalmol* 2007; 51: 185-190.
94. Weiss, J N., Rand, L I., Gleason, R E., Soeldner, J S. Laser light scattering spectroscopy of in vivo human lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1984; 25: 594-598.
95. Verrotti, A., Lobefalo, L., Petitti, M T., Mastropasqua, L., Morgese, G., Chiarelli, F. et al. Relationship between contrast sensitivity and metabolic control in diabetic with and without retinopathy. *Ann Med* 1998; 30: 369-374.
96. North, R V., Farell, U., Banford, D., Jones, C., Gregory, J W., Butler, G. et al. Visual function in young IDDM patients over 8 years of age: A 4-year Longitudinal Study. *Diabetes Care* 1997; 20: 1724-1730.
97. Katz, G., Levkovitch-Verbin, H., Treister, G., Belkin, M., Ilany, J., Polat, U. Mesopic foveal contrast sensitivity is impaired in diabetic patients without retinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2010; 248(12): 1699-703.
98. Calvo-Maroto, A M., Pérez-Cambrodí, R J., García-Lázaro, S., Albarrán-Diego, C., Cerviño, A. A pilot study on total, corneal, and internal aberrations in insulin-dependent and non-insulin-dependent diabetes mellitus patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015 253: 645-653.

99. Shahidi, M., Blair, N P., Mori, M., Zelkha, R. Optical section retinal imaging and wavefront sensing in diabetes. *Optom Vis Sci* 2004; 81: 778-784.
100. Wiemer, N G., Dubbelman, M., Ringens, P J., Polak, B C. Measuring the refractive properties of the diabetic eye during blurred vision and hyperglycaemia using aberrometry and Scheimpflug imaging. *Acta Ophthalmol* 2009; 87: 176-182.
101. Sparrow, J M., Bron, A J., Phelps Brown, N A., Neil, H A. Biometry of the crystalline lens in late onset diabetes: the importance of diabetic type. *Br J Ophthalmol* 1992; 76: 428-433.
102. Bron, A J., Sparrow, J., Brown, N A., Harding, J J. Blakytyn, R. The lens in diabetes. *Eye* 1993; 7: 260-275.
103. Logstrup, N., Sjolie, A K., Kyvik, K O., Green, A. Lens thickness and insulin dependent diabetes mellitus: a population based twin study. *Br J Ophthalmol* 1996; 80: 405-408.
104. Lombardo, M., Lombardo, G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:313-331.
105. Applegate, R A., Ballentine, C., Gross, H., Sarver, E J., Sarver, C A. Visual acuity as a function of Zernike mode and level or root mean square error. *Optom Vis Sci* 2003; 80: 97-105.
106. Shahidi, M., Yang, Y. Measurements of ocular aberrations and light scatter in healthy subjects. *Optom Vis Sci* 2004; 81: 853-857.
107. Guirao, A., Gonzalez, C., Redondo, M., Geraghty, E., Norrby, S., Artal, P. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999; 40: 203-213.
108. Artal, P., Guirao, A., Berrio, E., Piers, P., Norrby, S. Optical aberrations and the aging eye. *Int Ophthalmol Clin* 2003; 43: 63-77.
109. Glasser, A., Campbell, M C. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to the presbyopia. *Vision Res* 1999; 39: 1991-2015.
110. Cheng, H., Barnett, J K., Vilupuru, A S., Marsack, J D., Kasthurirangan, S., Applegate, R A., et al. A population study on changes in wave aberrations with accommodation. *JVis* 2004; 4: 272-280.
111. Oshika, T., Klyce, S D., Applegate, R A., Howland, H C., El Danasoury, M A. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 1999; 127:1-7.
112. Moreno-Barriuso, E., Lloves, J M., Marcos, S., Navarro, R., Llorente, L., Barbero, S. Ocular aberrations before and after myopia corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001; 42: 1396-1406.

113. Marcos, S., Barbero, S., Llorente, L., Merayo-Llves, J. Optical response to LASIK surgery for myopia from total and corneal aberration measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001; 42: 3349-3356.
114. Montés-Micó, R., Alió, J L., Munõz, G, Pérez-Santonja, J J., Charman, W N. Postblink changes in total and corneal ocular aberrations. *Ophthalmology* 2004; 111: 758-767.
115. Montés-Micó, R., Cáliz, A., Alió J L. Wavefront analysis of higher order aberrations in dry eye patients. *J Refract Surg* 2004; 20: 243-247.
116. Eye & Health Care Nidek Co, Ltd. Aberrómetro Refrator OPD Scan III Manual do Usuário. Japão. Março 2011.
117. Oculus C-Quant straylight measurement. Quick guide.
118. van der Meulen, I J E., Gjertsen, J., Kruijt, B., Witmer, J P., Rulo, A., Schlingemann, R D., van den Berg, T J T P. Straylight measurements as an indication for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 840-848.
119. Lundström, L., Unsbo, P. (2007). Transformation of Zernike coefficients: scaled, translated, and rotated wavefronts with circular and elliptical pupils. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 24(3), 569-577.
120. Hartwig, A., Atchison, D A. Analysis of Higher-Order Aberrations in a Large Clinical Population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, November 2012, Vol. 53, No. 12.
121. McAlinden, C., Pesudovs, K., Moore, J E. The Development of an Instrument to Measure Quality of Vision. The Quality of Vision (QoV) Questionnaire. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, November 2010, Vol. 51, No 11.

# ANEXOS

## ANEXO I

(Parecer da Comissão de Ética para a Saúde)



**COMISSÃO DE ÉTICA PARA A SAÚDE**

<b>PARECER FINAL:</b>  Parecer favorável. O investigador deverá, no entanto, juntar ao processo o protocolo celebrado entre a UBI e o ACES - CB.	<b>DESPACHO:</b> <i>Homologa-se o parecer final da Comissão de Ética para a Saúde</i> <i>19.11.2015</i>  Conselho Diretivo da A.R.S. do Centro, L.P.  <i>[Signature]</i> Dr. José Manuel Azinhã Teresa Presidente,  <i>[Signature]</i> Dr.ª Maria Augusta Motu Vice-Presidente,
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ASSUNTO:** 70/2015 - Análise da Influência de Parâmetros Visuais na Qualidade de Vida do Paciente Diabético na Região da Costa da Beira

*[Signature]*  
Dr. Luís Manuel Militão Mendes Cabral  
Vogal,

A diabetes é uma patologia com uma enorme incidência mundial com tendência para aumentar. Infelizmente, não obstante as medidas preventivas e de educação o número de diabéticos aumenta também fruto de uma cada vez maior população envelhecida. Uma das consequências da diabetes é a retinopatia diabética. Com o avançar da doença há uma progressiva diminuição da acuidade visual que pode, inclusive, conduzir à cegueira. Urge, pois, estudar a retinopatia diabética, estudar causas, formas de controlo da doença e tratamentos. O estudo apresentado poderá revelar ser uma mais valia no desenvolvimento e aperfeiçoamento dos tratamentos da retinopatia diabética.

Coimbra, 18 de novembro de 2015

O Relator  
*[Signature]*  
(Dra. Carla Barbosa)

O Presidente da CES  
*[Signature]*  
(Prof. Doutor Fontes Ribeiro)

## ANEXO II

(Consentimento Informado Grupo de Estudo)



UNIVERSIDADE da  
BEIRA INTERIOR



### CARTA EXPLICATIVA AO PARTICIPANTE DO ESTUDO

#### *“Análise da Influência de Parâmetros Visuais na Qualidade de Vida do Paciente Diabético na Região da Cova da Beira”*

Exmo Sr(a). vimos por este meio solicitar a vossa participação num projeto de investigação, envolvendo a análise da influência de parâmetros visuais na qualidade de vida do paciente diabético na região da Cova da Beira. Este projeto é desenvolvido em colaboração com o Agrupamento de Centros de Saúde (ACeS) Cova da Beira.

En-  
tre-  
gar-  
ao-  
vol-  
unt-  
ári-  
o

Para a realização do projeto serão necessários os valores de hemoglobina glicada, nível de glicémia, historial clínico sucinto relativo à diabetes, medidas de peso, altura, pressão arterial, acuidade visual, pressão intraocular, aberrometria, topografia corneal, retinografia, avaliação dos meios oculares por biomicroscopia, preenchimento do questionário VFQ39 e adicionalmente os testes:

- |                                                     |                                    |                                      |                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Sensibilidade ao contraste | <input type="checkbox"/> Tearscope | <input type="checkbox"/> Meibografia | <input type="checkbox"/> OCT |
| <input type="checkbox"/> Campimetria central        | <input type="checkbox"/> C-Quant   |                                      |                              |

Informamos V.Exa, que os testes a efectuar são indolores, não invasivos e sem complicações. Todos os dados recolhidos serão armazenados de forma codificada, para garantia da sua confidencialidade, nos equipamentos do UBIMedical e nos arquivos do Centro Clínico e Experimental em Ciências da Visão da Universidade da Beira Interior (CCECV). Serão igualmente transmitidas as informações relevantes ao parceiro do projeto, o ACeS Cova da Beira, para efeitos de monitorização da saúde do utente. Os dados poderão ser acedidos por investigadores do CCECV, profissionais de saúde do ACeS Cova da Beira, e eventuais revisores de revistas científicas e elementos da Comissão Nacional de Proteção de Dados.

Agradecemos a sua participação no estudo e informamos que poderá desistir do mesmo sempre que julgar estar desconfortável ou por qualquer outro motivo. Para esclarecimentos adicionais poderá contactar o responsável do estudo, Professor Pedro Monteiro, telefonicamente para a Universidade da Beira Interior ou por email para [pmm@ubi.pt](mailto:pmm@ubi.pt).

O Responsável do Projeto:



### CONSENTIMENTO LIVRE E INFORMADO

En-  
tre-  
gar-  
ao-  
ex-  
am-  
ina-  
do-  
r

Eu, \_\_\_\_\_, consinto em participar num estudo sobre a análise da influência de parâmetros visuais na qualidade de vida do paciente diabético na região da Cova da Beira. Foi-me explicado o objectivo experimental do protocolo. Fui informado que poderei interromper a participação na investigação sempre que for esta a minha decisão, sem que daí resulte alguma repercussão. Finalmente foi-me explicado o procedimento dos exames.

\_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 20\_\_

Assinatura



## ANEXO III

(Consentimento Informado Grupo de Controlo)



UNIVERSIDADE da  
BEIRA INTERIOR



#### CARTA EXPLICATIVA AO PARTICIPANTE DO ESTUDO

##### *“Análise da Influência de Parâmetros Visuais na Qualidade de Vida do Paciente Diabético na Região da Cova da Beira – Análise do Grupo de Controlo”*

Exmo Sr(a). vimos por este meio solicitar a vossa participação num projeto de investigação, envolvendo a análise da influência de parâmetros visuais na qualidade de vida do paciente diabético na região da Cova da Beira. Deste modo é necessária a criação de um grupo de controlo, a fim de serem percebidas possíveis diferenças entre este e os pacientes diabéticos, no que diz respeito aos vários parâmetros de qualidade visual. Este projeto é desenvolvido em colaboração com o Agrupamento de Centros de Saúde (ACeS) Cova da Beira.

Para a realização do projeto serão necessários os valores de acuidade visual, pressão intraocular, aberrometria, topografia corneal, avaliação dos meios oculares por biomicroscopia, preenchimento do questionário VFQ39 e adicionalmente os testes:

- |                                                     |                                    |                                      |                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Sensibilidade ao contraste | <input type="checkbox"/> Tearscope | <input type="checkbox"/> Meibografia | <input type="checkbox"/> OCT |
| <input type="checkbox"/> Campimetria central        | <input type="checkbox"/> C-Quant   |                                      |                              |

Informamos V.Exa, que os testes a efectuar são indolores, não invasivos e sem complicações. Todos os dados recolhidos serão armazenados de forma codificada, para garantia da sua confidencialidade, nos equipamentos do UBIMedical e nos arquivos do Centro Clínico e Experimental em Ciências da Visão da Universidade da Beira Interior (CCECV). Os dados poderão ser acedidos por investigadores do CCECV, profissionais de saúde do ACeS Cova da Beira, e eventuais revisores de revistas científicas e elementos da Comissão Nacional de Proteção de Dados.

Agradecemos a sua participação no estudo e informamos que poderá desistir do mesmo sempre que julgar estar desconfortável ou por qualquer outro motivo. Para esclarecimentos adicionais poderá contactar o responsável do estudo, Professor Pedro Monteiro, telefonicamente para a Universidade da Beira Interior ou por email para [pmm@ubi.pt](mailto:pmm@ubi.pt).

O Responsável do Projeto:

#### CONSENTIMENTO LIVRE E INFORMADO

Eu, \_\_\_\_\_, consinto em participar num estudo sobre a análise da influência de parâmetros visuais na qualidade de vida do paciente diabético na região da Cova da Beira – análise do grupo de controlo. Foi-me explicado o objectivo experimental do protocolo. Fui informado que poderei interromper a participação na investigação sempre que for esta a minha decisão, sem que daí resulte alguma repercussão. Finalmente foi-me explicado o procedimento dos exames.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_

Assinatura

CÓDIGO ID: SCATGC \_\_\_\_

Entregar ao voluntário

Entregar ao examinador

## ANEXO IV

(Questionário de Encandeamento)



## Questionário de Encandeamento

Identificação do paciente

Código:

Data de Nascimento:

Questão 1	Nenhuma Dificuldade	Praticamente Sem dificuldade	Pouca dificuldade	Dificuldade moderada	Dificuldade Extrema	Não consegue ver
Qual o grau de dificuldade que sente em ver o que está à sua frente quando conduz num túnel, durante o dia?						
Questão 2						
Qual o grau de dificuldade que sente em ver o que está à sua frente quando um carro vem no sentido contrário com os faróis ligados, durante a noite?	Nenhuma Dificuldade	Praticamente Sem dificuldade	Pouca dificuldade	Dificuldade moderada	Dificuldade Extrema	Não consegue ver
Questão 3						
Qual o grau de dificuldade que sente em ver o que está à sua frente quando o sol está muito baixo no horizonte?	Nenhuma Dificuldade	Praticamente Sem dificuldade	Pouca dificuldade	Dificuldade moderada	Dificuldade Extrema	Não consegue ver
Questão 4						
Já alguma vez parou de conduzir devido aos problemas mencionados anteriormente?	Não aplicável	Nunca	Poucas vezes	Algumas Vezes	Muitas Vezes	Sempre
Questão 5						
Qual o grau de dificuldade que sente em reconhecer rostos em contraluz?	Nenhuma Dificuldade	Praticamente Sem dificuldade	Pouca dificuldade	Dificuldade moderada	Dificuldade Extrema	Não consegue ver

Nota: as questões são indicadas numa escala de severidade de 0 a 5.